

VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra elektroenergetiky

Použití přístrojů s plynem SF₆ na Dolech Bílina

Using SF₆ Aparatus in Doly Bílina

2012

Eduard Bartík

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Eduard Bartík**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: Použití přístrojů s plynem SF6 na Dolech Bílina.
Using SF6 Aparatus in Doly Bílina.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Princip činnosti přístrojů s SF6. Výhody, nevýhody.
3. Popis hospodářství SF6 na Dolech Bílina.
4. Využití přístrojů s SF6 v rozvodech na Dolech Bílina.
5. Závěr - shrnutí poznatků.

Seznam doporučené odborné literatury:


Katalogy vypínačů SF6 - Siemens.
Katalogy vypínačů SF6 - ABB.
Helštýn D. Kačor P., Hytka Z.: Elektrické přístroje spínací, ochranné a řídící. Skripta VŠB-TU, 2003
Havelka O.+ Kol.: Elektrické přístroje. SNTL, 1985
Novotný V., Vávra Z.: Spínací přístroje a rozváděče na vysoké napětí. SNTL, 1986
Projektová dokumentace Doly Bílina.
WWW stránky výrobců vpínačů SF6.

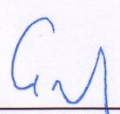
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Helštýn**

Datum zadání: 30.11.2011
Datum odevzdání: 04.05.2012




prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Bílině dne : 3.5.2012

Eduard Bartík

Eduard Bartík

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce ing. Davidu Helštýnovi a ing. Vlastimilovi Krausovi za odborné rady a připomínky, a také za čas který mi věnovali. Také děkuji celé své rodině za podporu při psaní této práce.

Abstrakt

Předmětem mé práce je použití přístrojů s plynem SF₆ na Dolech Bílina. V první části práce se zabývám seznámením s historickým vývojem vn vypínačů. Dále vysvětlím, co je to vypínač a jaké požadavky jsou na něho kladeny. Následně provedeme základní rozdělení vypínačů a na závěr první části vysvětlím, co je elektrický oblouk, proč je nežádoucí a jak ho zhaset. V druhé části se již zabývám vypínači s plynem SF₆, vývojem plynu SF₆, vlastnostem plynu SF₆, stručným historickým vývojem vypínačů s použitím plynu SF₆ a jejich principy zhasení elektrického oblouku. Ve třetí části již popisují přístroje používané na Dolech Bílina, jaké se používají, jak se používají a jaké vyžadují nároky na obsluhu a údržbu.

Klíčová slova: vypínač, live-tank, dead-tank, puffer-type, self-blast, SF₆, fluorid sirový, spínací mechanismus, transformační stanice, zapouzďřený rozvaděč, spolehlivost, únik plynu.

Abstract

The subject of my work is the use of devices for gas with SF₆ at Doly Bilina. The first part deals with the introduction to the historical development of medium voltage circuit breakers. I also explain what a switch and what requirements are placed on him. Then I make a basic division switches and at the end of the first part I will explain what is an electric arc, why is undesirable and how to extinguish. In the second part I have been dealing with SF₆ circuit breakers, SF₆ gas development, the characteristics of SF₆ gas, a brief historical development of circuit breakers using SF₆ gas and arc quenching principles. In the third section I describe the instruments used to Doly Bilina, which are used, how they are used and what needs to require operation and maintenance.

Key words: switch, live-tank, dead-tank, puffer-type, self-blast, SF₆, sulfur hexafluoride, switching mechanism, transformer station, enclosed switchboard, reliability, gas escape

Obsah

1. ÚVOD.....	1
1.1. NÁHLED DO HISTORIE VÝVOJE VYPÍNAČŮ VN A VVN	1
1.2. CO JE VYPÍNAČ?	1
1.3. POŽADAVKY KLADE NÉ NA VYPÍNAČ.....	2
1.4. OBECNÉ ROZDĚLENÍ VYPÍNAČŮ.....	2
1.4.1. Rozdělení podle napěťové úrovně	3
1.4.2. Rozdělení podle provedení	3
1.4.3. Rozdělení podle vnějšího designu	4
1.4.4. Rozdělení podle principu zhášení.....	5
1.5. ELEKTRICKÝ OBLOUK	5
1.5.1. Stejnosměrný elektrický oblouk	6
1.5.2. Střídavý elektrický oblouk.....	7
1.5.3. Způsoby zhášení elektrického oblouku.....	8
2. PRINCIP ČINNOSTI TLAKOPLYNOVÝCH VYPÍNAČŮ S PLYNEM SF₆	9
2.1. STRUČNÁ HISTORIE VYPÍNAČŮ SF ₆	9
2.2. CHARAKTERISTIKA PLYNU SF ₆	10
2.2.1 Historický vývoj plynu SF ₆	10
2.2.2 Vlastnosti plynu SF ₆	10
2.2.3 Fyzikální vlastnosti plynu SF ₆	11
2.2.4 Chemické vlastnosti plynu SF ₆	13
2.2.5 Dopady na životní prostředí použitím plynu SF ₆	14
2.2.6 Dopady plynu SF ₆ na zdraví člověka a rizika.....	14
2.2.7 Zdroje emisí SF ₆	14
2.2.8 Způsoby zjišťování úniku a měření SF ₆	14
2.2.9 Další informace k plynu SF ₆	15
2.3. PRINCIPY TLAKOPLYNOVÝCH VYPÍNAČŮ S PLYNEM SF ₆	15
2.3.1 Dvoutlakové vypínače s plynem SF ₆	15
2.3.2 Tlakoplynový vypínač typu Puffer-Type.....	16
2.3.3 Tlakoplynový vypínač typu self-blast	18
2.4. SPÍNACÍ MECHANISMY VYPÍNAČŮ S PLYNEM SF ₆	21
2.4.1 Pružinový střadačový mechanismus	21
2.4.2 Pneumatický spínací mechanismus	22
2.4.3 Hydraulický spínací mechanismus	22
2.4.4 Hydraulicky-pružinový spínací mechanismus.....	23
2.4.5 Spínací mechanismus řízeným servomotorem.....	23
3. ELEKTRICKÉ PŘÍSTROJE S PLYNEM SF₆ NA DOLECH BÍLINA.....	24
3.1. CHARAKTERISTIKA ROZVODNÉ SÍTĚ DOLY BÍLINA.....	24

3.2.	SOUČASNÉ VYUŽITÍ ELEKTRICKÝCH PŘÍSTROJŮ S PLYNEM SF ₆	24
3.3.	PŘÍKLAD PROVEDENÍ TRANSFORMAČNÍ STANICE DT.....	24
3.3.1.	<i>Přívodní rozvaděč RI 35kV SafePlus</i> 36.....	26
3.3.2.	<i>Rozvaděč vn NXPLUS 35kV</i>	30
3.4.	OBSLUHA ROZVADĚČŮ S PLYNEM SF ₆	33
3.5.	ÚDRŽBA ROZVADĚČŮ IZOLOVANÉ PLYNEM SF ₆	35
4.	ZÁVĚR	36
5.	POUŽITÁ LITERATŮRA	38

1. Úvod

Neustále se zvyšující výkony, požadavky na spolehlivost, snadnou údržbu a také ekonomická hlediska, vedou výrobce k vývoji nových typů přístrojů. Tento vývoje nejvíce patrný právě u vypínačů vn a vvn, které jsou základními, a zároveň klíčovými prvky v rozvodnách, kde se používají transformátory, vedení apod. Svoji vysokou vypínací schopností a spolehlivostí zabezpečují uzlové body sítí, a to nejen ve světě, ale i na Dolech Bílina. Nabídka na současném trhu vypínačů vn a vvn se převážně skládá z vakuových a tlakoplynových vypínačů s plynem SF₆. Cílem mé práce je jednak seznámit se s principy vypínačů, a zároveň popsat i využití plynu SF₆, který se na Dolech Bílina používá především v zapouzdrěných rozvaděcích izolovaných právě plynem SF₆. V dnešní době jsou velké nároky na spolehlivost, jednoduchou obsluhu, údržbu, a kvalitní servis. Elektrické přístroje s plynem SF₆ nabízejí téměř bezúdržbový provoz a přesto na nich dochází k selhání. Pro výběr vhodného elektrického přístroje je proto nutné seznámit se i s mechanickým provedením.

1.1. Náhled do historie vývoje vypínačů vn a vvn

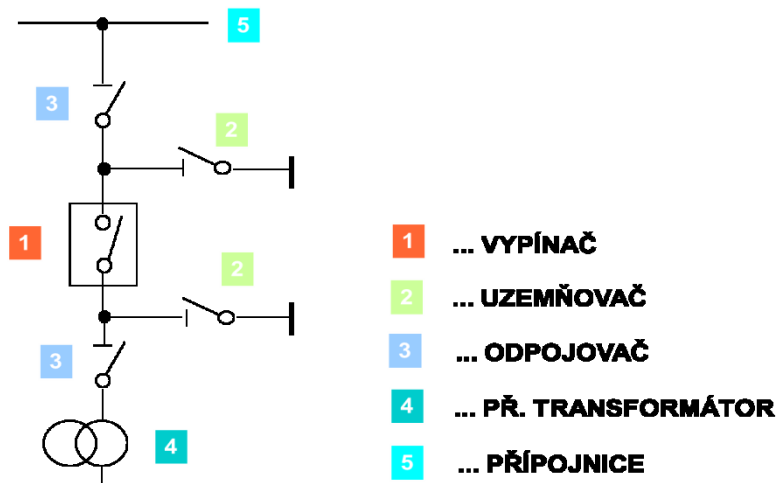
Ve dvacátých letech minulého století se začaly používat kotlové olejové vypínače, které byly pro svoje nízké vypínací schopnosti, a pro své destruktivní následky při selhání, postupně nahrazovány vypínači olejovými se zhášecími komorami. Nejprve to byly ještě vypínače v kotlovém provedení, postupně už vypínače máloolejové. Pro zajímavost můžeme říct, že máloolejové vypínače se používají ještě dnes.

S nárůstem přenášených výkonů a zvyšováním napěťových hladin se začaly hledat nové fyzikální a konstrukční principy vypínačů. Zároveň se hledala nová, vhodnější zhášecí média. Výsledkem hledání byly tlakovzdušné vypínače, kde zhášecím médiem byl stlačený vzduch. Nejdříve se používaly dvoutlakové soustavy, které však měli vysoké nároky na servis a na vybavení. V dalším vývoji byly navrženy a zkonstruovány jednotlakové soustavy, které odstraněním nákladného kompresorového zařízení zvětšily ekonomičnost provozů těchto vypínačů. Použitím jednotlakové soustavy ve spojení s moderní technologií tak umožnilo rozvoj vypínačů SF₆. A protože vypínací schopnost zhášecích komor tlakovzdušných vypínačů je omezená, dochází v 50. a 60. letech k postupnému nahrazování plynem SF₆, jehož vlastnosti lépe odpovídají zvyšujícím se požadavkům. Vypínače s SF₆ se používají v distribučních sítích, venkovních i kabelových, v průmyslových rozvodech atd. Výhodou těchto vypínačů je jejich velká vypínací schopnost, jednoduchost konstrukce, malé rozměry, velká spolehlivost, dlouhá bez revizní doba, čistota provozu atd.

1.2. Co je vypínač?

Vypínač je spínací elektrický přístroj, který má schopnost zapínat nebo vypínat všechny provozní proudy vyskytující se v elektrických obvodech, a tedy i proudy zkratové a zabezpečit tak

ostatní části rozvodné soustavy. V případě poruchy, např. zkratu musí vypínač postiženou část rozvodné soustavy rychle odpojit, a tím tak ochránit stabilitu systému. Kromě ochranné funkce jsou vypínače používány pro údržbu a opravy elektrických zařízení. Vypínač spolu s odpojovačem, a uzemňovačem, nám zajistí bezpečnost osob. Příklad zapojení vypínače v rozvodné síti je na Obr. 1.



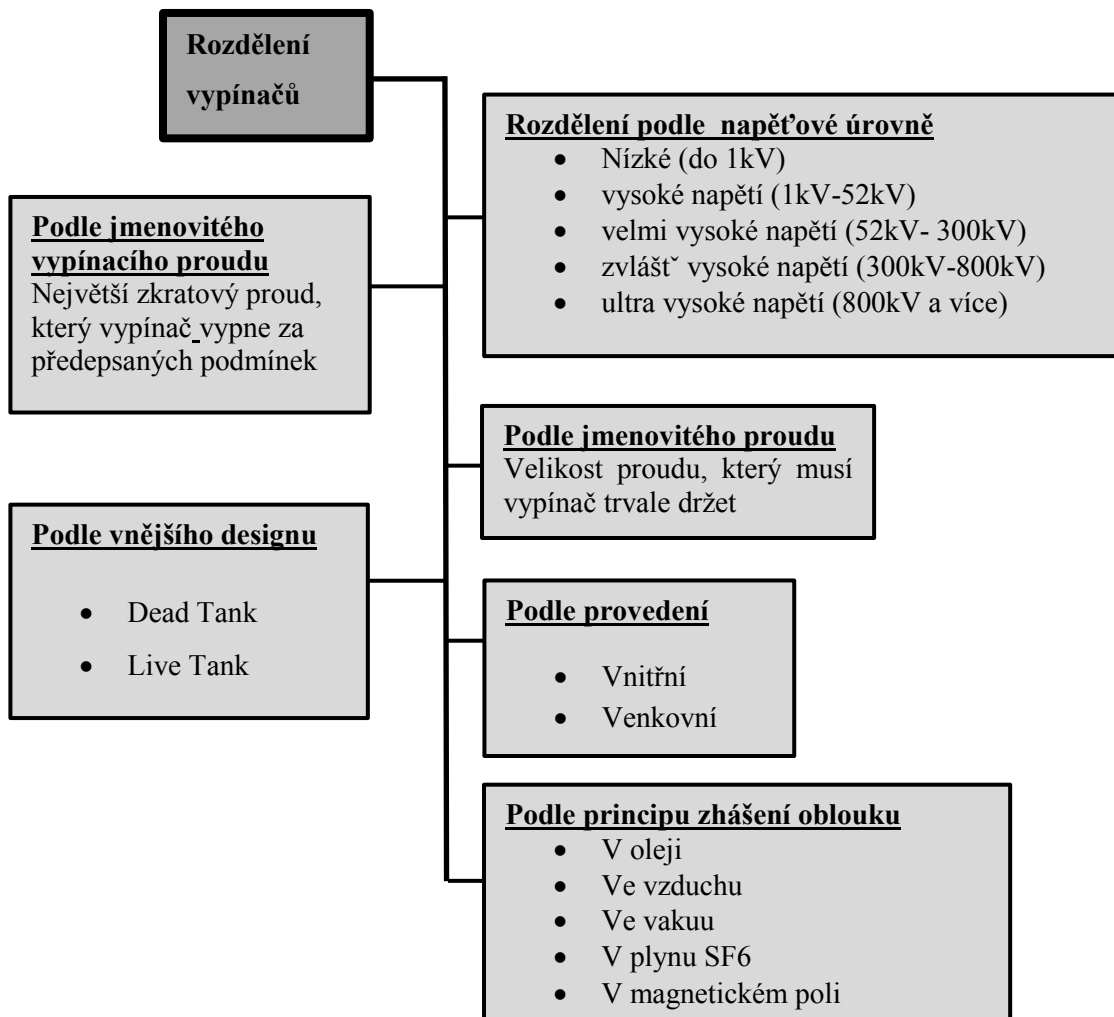
Obr. 1 - Příklad zapojení vypínače v rozvodné síti

1.3. Požadavky kladené na vypínač

V sepnutém stavu musí být vypínač dobrým vodičem, z mechanického i teplotního hlediska musí být schopen přenášet jmenovité i zkratové proudy. Dále musí v sepnutém stavu rychle, bez abnormálních přepětí, vypnout zkratový, nebo nižší proud. V rozepnutém stavu musí spolehlivě zamezit průchodu elektrického proudu a to jak pro napětí proti zemi, tak i mezi fázemi a i mezi vlastními kontakty. V rozepnutém stavu musí být také schopen rychle, a bez nadměrné eroze kontaktů, zapnout zkratový, nebo nižší proud.

1.4. Obecné rozdělení vypínačů

Vypínače můžeme rozdělit podle určitých kritérií, jako je napěťová úroveň, místo instalace, podle použití na daný jmenovitý proud, podle jmenovitého vypínacího proudu a možná nejdůležitější kritérium rozdělení, je rozdělení podle použitého zhášecího média, používaný pro zhášení elektrického oblouku. Rozdělení je zobrazeno na Obr. 2.



Obr. 2 – Obecné rozdělení vypínačů

1.4.1. Rozdělení podle napěťové úrovně

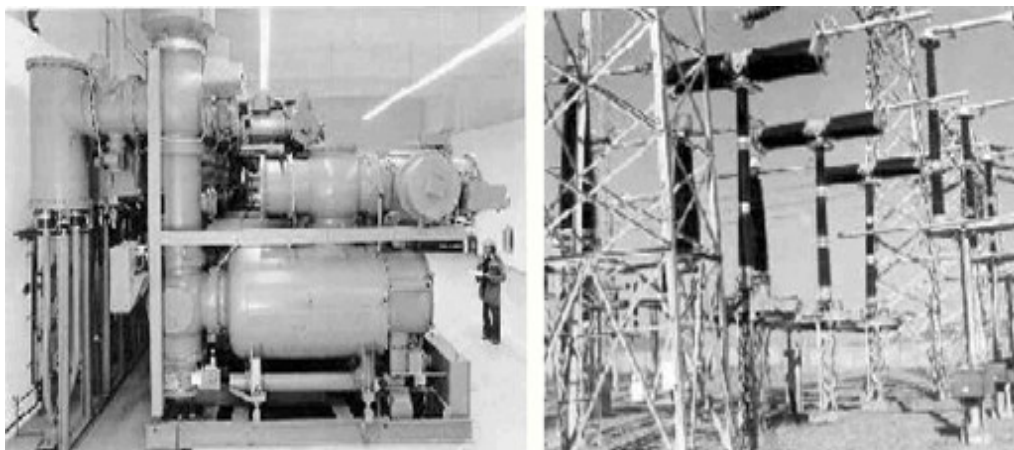
V podstatě to je rozdělení vypínačů, které se používají na dané napěťové úrovni, jak ukazuje Obr. 2. V současnosti je provedena unifikace a sjednocení v používání vypínačů:

- Soustava vn – máloolejové (postupný útlum), tlakoplynové, vakuové
- Soustava vvn – tlakoplynové

1.4.2. Rozdělení podle provedení

Rozdělení je založeno na tom, kde se dané vypínače nacházejí. Vypínače lze tedy rozdělit na vnitřní a venkovní. Vypínače na nízké a na vysoké napětí, a zároveň také vypínače plynem izolované

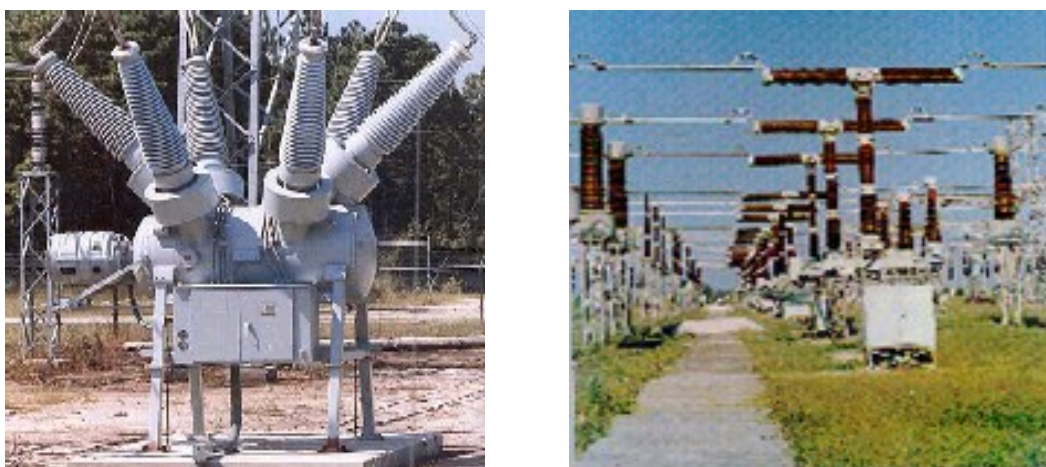
se převážně řadí do kategorie pro vnitřní použití. Tyto vypínače jsou navrženy jen pro použití ve vnitřním provedení a jsou umístěny v kovovém obalu, oproti vypínačům venkovním, u kterých je jako externí izolační médium vzduch. Obecně to znamená, že rozdíl mezi vypínači ve vnitřním a venkovním provedení, je jen v různosti konstrukce obalu, jak je znázorněno na obr. 3a,b. Za předpokladu, že vypínače jsou konstruovány na stejné jmenovité proudy, a na stejné jmenovité napětí, a pokud využívají stejnou technologii vypnutí, nebo zapnutí, pak jsou v mnoha případech vypínací komory a provozní mechanismy stejné pro oba typy.



Obr. 3 – a) 33kV vnitřní typ provedení, b) Venkovní provedení

1.4.3. Rozdělení podle vnějšího designu

Z hlediska fyzického konstrukčního provedení, můžeme venkovní vypínače rozdělit na Dead-tank, nebo Live-tank provedení. Tyto dva typy vypínačů jsou na Obr.4a,b. U vypínače v provedení Dead-Tank jsou všechny zhášecí komory umístěny v kovové tlakové nádobě, ve které je umístěno i zhášecí médium, a která je na zemním potenciálu. U typu Live-Tank jsou zhášecí komory umístěny odděleně na podporách – izolátorech.



Obr. 4 - a) Dead-Tank vypínač (výrobce ABB), b) Live-Tank vypínač (výrobce BHEL)

Výhody provedení typu Dead-Tank [4]:

- 1) Mají nízkou a více estetickou siluetu
- 2) Jejich provedení konstrukce nabízí větší seismickou přetížitelnost
- 3) Jsou dodávány od výrobce již sestavené

Výhody provedení typu Live-Tank [4]:

- 1) Nižší náklady na vypínač
- 2) Menší montážní požadavky na prostor
- 3) Menší množství zhášecího media při zhášení

1.4.4. Rozdělení podle principu zhášení

Zhášecí médium je nejdůležitějším faktorem ve vývoji vypínačů. Z něho vyplívají celkové konstrukční parametry vypínače. Do konce 70. let se používalo jako zhášecího media olej, nebo vzduch, ale dnes se uplatňují v oblasti vypínačů vn a vvn pouze vakuové vypínače a tlakoplynové vypínače s plynem SF₆.

Podle disertační práce (Stacionární a dynamické napěťové namáhání vypínačů vn a vvn se vypínače uplatňují takto[9]):

Vakuové vypínače se standardně prosazují až do napětí 35kV, kde zaujímají až 80% trhu. Dále se v tomto napěťovém rozsahu uplatňují vypínače s plynem SF₆, často s kombinovaným typem zhášení, jako například self-blast typ s rotujícím obloukem, nebo magnetickým vyfukováním. Vypínače těchto typů se prosazují až do napětí 110kV. Pro vyšší napěťové hladiny se používají výhradně vypínače s plynem SF₆ a to s puffer-typem nebo self-blast systémem.

1.5. Elektrický oblouk

Elektrický oblouk je výboj hořící v plynu, který vzniká v ionizovaném plynu. Elektrický oblouk je schopný samostatné existence libovolnou dobu, pokud jej nepřerušíme vhodným zásahem do jeho mechanismu. Pro ionizovaný plyn zavádíme čtvrté skupenství – Plasma. Ionizace plynu znamená převedení látky z plynného skupenství do skupenství plasmatického. Elektrický oblouk vzniká při spínání a rozpínání kontaktů při zatížení, nebo třeba i při přetavení pojistky.

Vlastnosti a hlavní znaky oblouku:

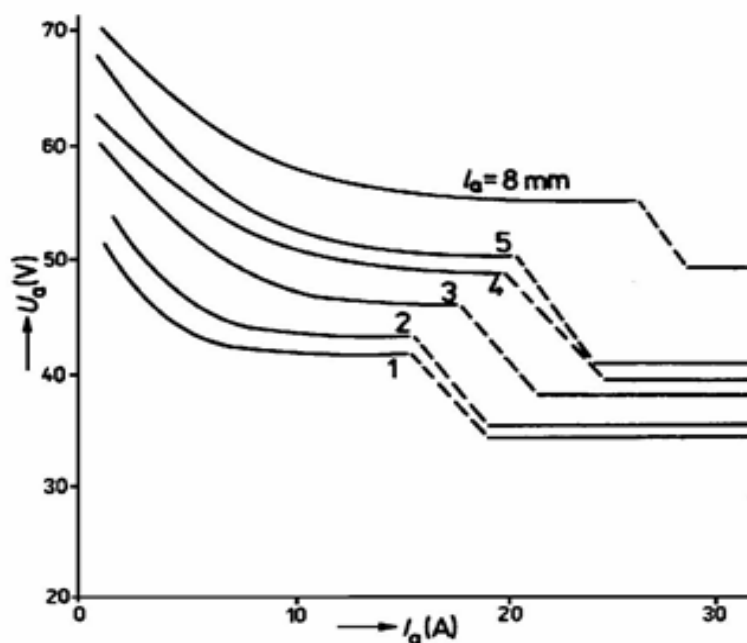
- Oblouk je plasma – obsahuje elektrony (jsou přenášeny částicemi nataveného materiálu), kladné a záporné ionty (ionizovaný plyn v okolí kontaktů)
- Oblouk je vodivá dráha umožňující průchod proudu i po oddálení kontaktů.

- Oblouk přenáší materiál z jednoho kontaktu na druhý.
- Malé napětí mezi kontakty (vzhledem k napětí zdroje)
- Velký proud procházející obloukem
- V oblouku je velká hustota proudu (MA/m^2).
- Vysoká teplota (3000- 16000 °C)
- Velká intenzita záření (od ultrafialového po infračervené)

Vznik elektrického oblouku je u elektrických přístrojů nežádoucí, dochází při něm k opalování kontaktů, a tedy k nižší životnosti elektrického přístroje. Podle druhu napětí v obvodu, ve kterém oblouk hoří, dělíme oblouky na stejnosměrný a na střídavý.

1.5.1. Stejnosměrný elektrický oblouk

Stejnosměrný oblouk je obloukem statickým. Závislost napětí mezi elektrodami na obloukovém proudu nazýváme tedy statickou charakteristikou. Tato statická charakteristika je znázorněna na Obr. 5.



Obr. 5 – Statická charakteristika stejnosměrného oblouku

Statická charakteristika se skládá ze dvou částí, z klesající a stoupající. Klesající část probíhá v oblasti malých proudů a má tvar hyperboly, zatímco stoupající probíhá v oblasti velkých proudů a má tvar přímky. Experimentálně se stanovením zabývala Ayrtonová, která empiricky odvodila vztah „tzv.

rovnice Ayrtonové“, což je vztah určující podmínky stability hoření elektrického oblouku v závislosti na jeho délce [10]:

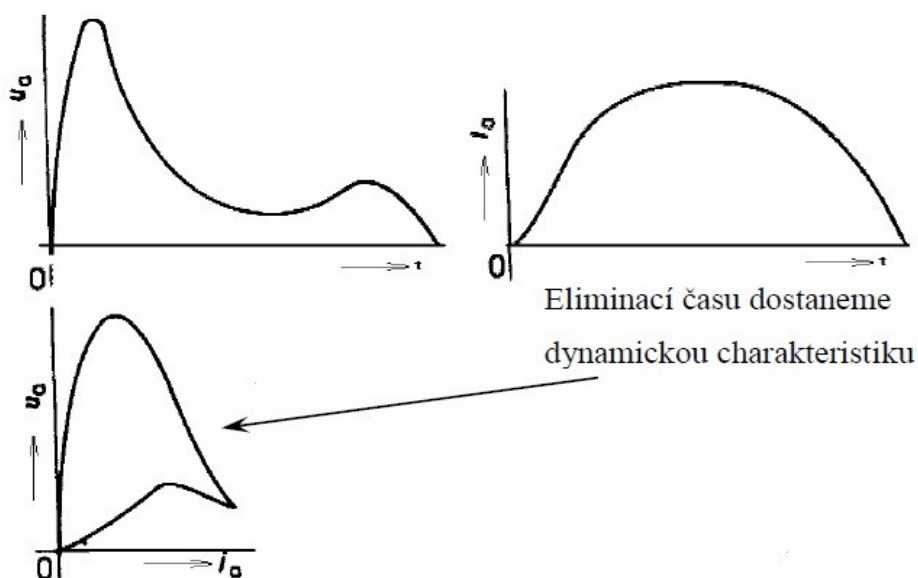
$$U_a = \alpha + \beta \cdot l_a + \frac{\gamma + \delta \cdot l_a}{I_a} \quad [1.5.1]$$

kde U_a - je napětí mezi kontakty
 I_a - je proud procházející obloukem
 l_a - je délka oblouku,

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ - jsou konstanty závislé na druhu a tlaku ve kterém oblouk hoří a na materiálu, tvaru a rozměrech kontaktů.

1.5.2. Střídavý elektrický oblouk

Střídavý oblouk je proměnný s časem, a proto se jeho charakteristika nazývá *dynamická*. Dynamická charakteristika je znázorněna na Obr. 7.



Obr. 7 – Dynamická charakteristika střídavého elektrického oblouku

Na začátku půlperiody stoupá napětí na elektrodách souhlasně se síťovým napětím, až do napětí potřebného pro zapálení oblouku. Velikost tohoto napětí nazýváme zapalovací. Po zapálení oblouku napětí poklesne na hořící napětí oblouku a po určitou část periody se mění velmi málo. Po dobu kdy oblouk hoří, tak se mění proud a znázorněním jeho časového průběhu je mírně deformovaná sinusovka. Na konci půlperiody se napětí nepatrně zvýší, na tzv. zhášecí špičku, proud se v oblasti zhášecí křivky blíží k nule. Doba k vytvoření oblouku je velmi krátká, řádově 10^{-6} s. Po vytvoření je plazma oblouku v termické rovnováze, a to znamená, že elektrony, ionty, neutrální atomy a popř. molekuly mají stejné teploty. Oblouk je schopen samostatně existovat, probíhají-li v něm ionizační

pochody, při zániku oblouku pak převládají rekombinační pochody nad ionizačními. V elektrických přístrojích může oblouk vzniknout dvojím způsobem:

- Při zapínání – zapínací oblouk – většinou vznikne bez znatelného vlivu na spínací pochod.
- Při vypínání – vypínací oblouk – je nutné jej přivést k zániku vhodným zásahem do jeho mechanismu, a jelikož vypínané proudy mohou dosáhnout velkých hodnot je zhášení oblouku poměrně obtížné.

1.5.3. Způsoby zhášení elektrického oblouku

Zhášení stejnosměrného oblouku je mnohem náročnější než zhášení oblouku střídavého, protože proud stejnosměrného oblouku má stále stejnou hodnotu a oblouk hoří se stejnou intenzitou. U střídavého oblouku využíváme skutečnosti, že při průchodu nulou oblouk sám uhasíná. Oblouk přerušíme v okamžiku, kdy proud prochází nulou, zároveň „zajistíme“, aby se oblouk znovu nezapálil. Podmínkou úspěšného vypnutí je tedy rychlejší vzrůst elektrické pevnosti než rychlost růstu zotaveného napětí.

Oblouk můžeme přerušit:

1. Zvětšením jeho odporu natahováním
2. Zvětšením jeho odporu zmenšením průřezu
3. Dělením oblouku na n dílčích obloučků

První možností, jak přerušit elektrický proud protékající obloukem je tedy natahováním délky oblouku. Tato metoda je účinná jen do určité hodnoty napětí, a pro střídavé oblouky.

Druhou možností je zmenšením průřezu oblouku. To provádíme intenzivním ochlazováním oblouku v trysce vypínače. Kolem oblouku proudí zhášecí medium a účinně jej ochlazuje. Průřez oblouku se zmenšuje a v nule proudu oblouk uhasne, protože vzrostl jeho odpor a ze zdroje není dodávána energie, která by oblouk udržela.

Třetí možností je dělení oblouků n -dílčích obloučků, které je už jednodušší zvládnout. Oblouk můžeme rozdělit například pomocí zhášecí komory s kovovým roštem. Rozdělení oblouků vlastně znamená, rozdělení odporu na několik menších odporů v sérii. Na každém dílčím odporu vzniká menší úbytek napětí. Při menším napětí se oblouk není schopen udržet.

Zhášení oblouku můžeme urychlit:

1. Zvětšováním vypínací rychlosti, tzv. mžikové vypínání, které je ovšem možné jen u nízkonapětových vypínačů.
2. Vhodnou úpravou kontaktů.
3. Několikanásobným přerušením proudu – proudovou dráhu rozpojíme na více místech řazených sériově.
4. Vyfukováním oblouku.
5. Zhášením zhášecím médiem (SF₆, vakuum).

2. Princip činnosti tlakoplynových vypínačů s plynem SF₆

2.1. Stručná historie vypínačů SF₆

Historie vypínačů s SF₆ je poměrně krátká. Přestože vynikající vlastnosti plynu SF₆ byly objeveny už kolem roku 1920, tak do roku 1940 nebyli prakticky použity. Průmyslová výroba SF₆ byla započata v USA po roce 1947. První vypínače byly vyvinuty na počátku padesátých let. Vzorem pro tento vypínač byly dvoutlakové tlakovzdušné vypínače. Elektrický oblouk byl chlazen axiální ofukováním plynu přiváděného z vysokotlakové nádoby do prostoru vypínače. Vypínač byl vyráběn ve dvou základních provedeních, a to:

- dead-tank provedení, kde všechny části zhašecí komory byly umístěny v kovové tlakové nádobě na zemním potenciálu
- live-tank provedení, kde zhašecí komora byla umístěna odděleně na porcelánových izolátorech.

Tyto vypínače, můžeme nazývat 1. generace vypínačů s plynem SF₆. Ty pohodlně splňovaly všechny požadavky kladené na jejich vypínací schopnost. Kvůli velkým nárokům na údržbu, nedostatečná spolehlivost, problémy se zkapařňováním plynu SF₆ při nízkých teplotách, velké rozměry a také vysoká cena vedly k vývoji nových konstrukčně jednodušších typů. Dalším vypínačem, vypínač 2. generace byl vyvinut s cílem odstranit tlakovou nádobu a kompresor:

- puffer-type, kde vypínač využíval k vytvoření potřebného tlakového spádu stlačení plynu pístem během vypínacího pochodu.

Mezi první modely v USA patřily vypínače 115 kV, 1000 MVA (Cromer a Friedrich, 1956). Dalším modelem, model s teflonovou zhašecí tryskou a statickým tlakem ve zhašedle 0,4 MPa až 0,6 MPa, vyrobený v roce 1958 firmou Yeckley a Cunningham (46 kV, 250 MVA), který se stal základem dalšího vývoje. Jakmile se prokázala určitá životaschopnost a výhodnost, začali se jejich výrobě věnovat velcí výrobci na celém světě (SIEMENS, Eisele a Biesack, Toshiba, Hitachi). Problémem puffer-type provedení vypínače jsou jeho velké požadavky kladené na výkon a na provedení motoru, který kromě ovládací funkce, zabezpečuje i natlakování kompresní komory pomocí pístu.

Hledáním řešení se vyvinuli vypínače 3. generace:

- self-blast type provedení, kde se využívá energie hořícího oblouku.

Celkově bychom mohli historický vývoj shrnout do tří hlavních etap:

- 1960 – dvoutlakové vypínače

- 1970 - puffer - type vypínače
- 1980 - self-blast type vypínače

2.2. Charakteristika plynu SF₆.

2.2.1 Historický vývoj plynu SF₆

SF₆ je kombinací fluoru a síry. První syntéza byla realizována v roce 1900 francouzskými vědci Messainem a Lebeauem z Farmaceutické fakulty v Paříži. Vydáním publikací od Pridaux (1906), Schlumb a Hazard (1930), Klemm a Henkel (1932-35) a Yest a Clausson (1933) se postupně stanovily chemické a fyzikální vlastnosti plynu a týkali se hlavně jeho chemických a dielektrických vlastností.

Stručný časový sled událostí:

- V r. 1937 General Electric Company jsou první, kdo si uvědomí, že by plyn mohl být používán jako izolace v elektrických zařízeních.
- V r. 1939 THOMPSON-HOUSTON patentuje princip použití plynu SF₆ jako izolace kabelů.

Okamžitě po druhé světové válce se začínají objevovat publikace a aplikace v rychlém sledu:

- **towards 1947** – výzkum izolace u transformátoru
- Vývoj průmyslové výroby SF₆ v USA (Allied Chemical Corporation a Pennsalt).
- V roce 1955 v Merlin Gerin, se začínají věnovat vývoji vypínačů a izolaci plynu SF₆. První elektrické přístroje jsou vyrobeny nejprve na velmi vysoké napětí a pak teprve na napětí vysoké.
- V roce 1960 kvůli rozsáhlému komerčnímu využití plynu SF₆ v elektrických zařízeních vede k výstavbě nových závodů v USA a v Evropě, současně s příchodem prvních vypínačů na vysoké napětí a velmi vysoké napětí.
- V roce 1966 byla uvedena do provozu první izolovaná rozvodna s SF₆ v oblasti kolem Paříže.
- Rok 1980 je v podstatě plyn SF₆ přijat pro použití v elektrických přístrojích.

2.2.2. Vlastnosti plynu SF₆

Plyn SF₆-fluorid sírový je plynem elektronegativním. Pojem elektronegativní označujeme velkomolekulární plyn s velkou elektronovou afinitou. Elektronová afinita prvku je energie, která se uvolní připoutáním jednoho elektronu neutrální částicí. Elektronegativní plyny vytvářejí hlavně prvky, kterým chybí jeden nebo dva elektrony do uzavření valenční sféry. Molekuly elektronegativních plynů snadno poutají volné elektrony. Tím si doplňují valenční sféry na úplný počet, a stávají se tak

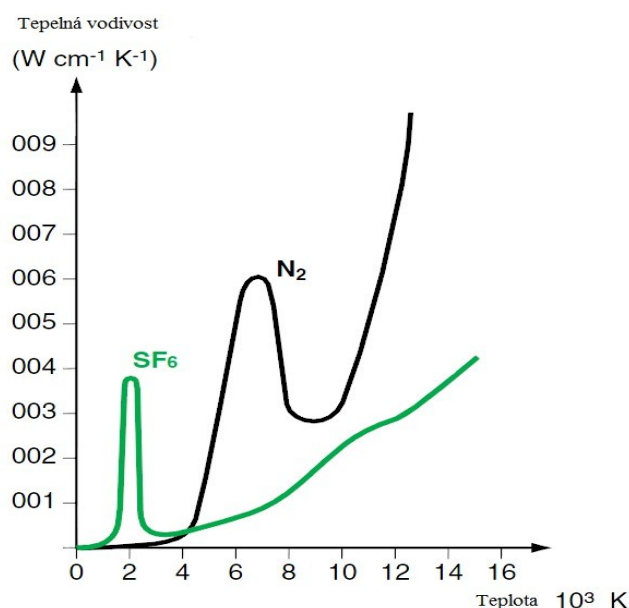
zápornými ionty o velkém průměru a hmotnosti. Jejich urychlení vlivem elektrického pole je nesnadné. Pokud ionizují, rychlosti kladných iontů se od záporných příliš neliší, takže po ionizaci značný počet částic opět rekombinuje, čehož důsledkem je všeobecně velká pevnost elektronegativních plynů v porovnání se vzduchem. Každý elektronegativní plyn ovšem není vhodný pro zhášení oblouku. To jsou takové plyny, které tepelným rozkladem uvolňují uhlík či poměrně brzy kapalní.

Plyn SF₆ je jedním z elektronegativních plynů, který se ukázal pro zhášení oblouků jako nejvhodnější. V přírodě se nevyskytuje, byl vytvořen uměle. Plyn se vyznačuje velkou elektrickou pevností, nehořlavostí, velkou chemickou stálostí, výbornými zhášecími vlastnostmi a dobrými vlastnostmi při odvodu tepla. Pro tyto vlastnosti se stal fluorid sírový základem nové generace přístrojů a rozvaděčů vn a vvn.

2.2.3. Fyzikální vlastnosti plynu SF₆

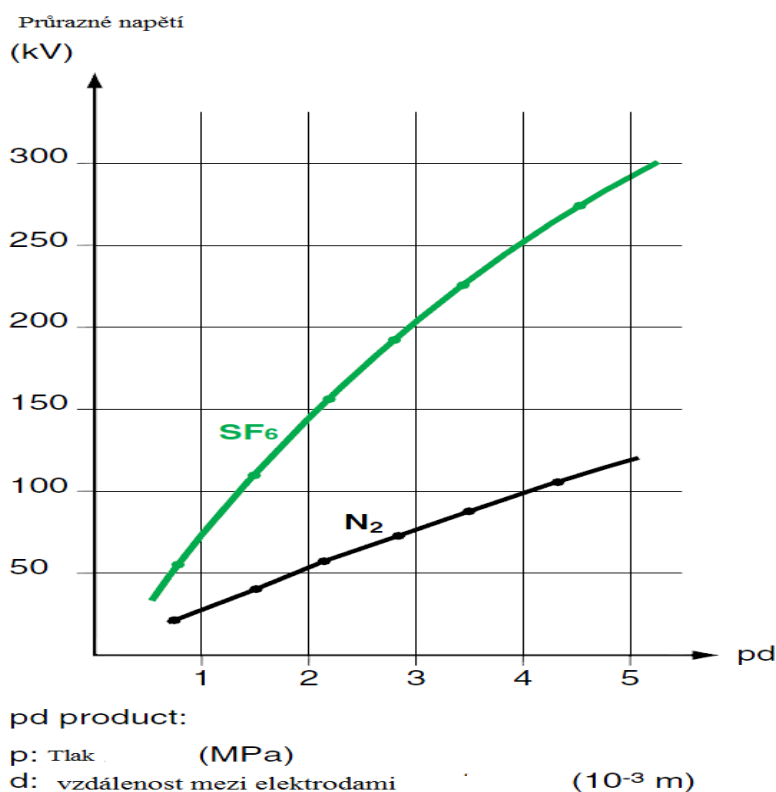
SF₆ je jedním z nejtěžších známých plynů. Jeho hustota je při normálním tlaku 5krát větší než hustota vzduchu. V plynném skupenství je bezbarvý, nejedovatý, nehořlavý, bez zápachu.

Tepelná vodivost SF₆ je nižší než vzduch, ale jeho schopnost prostupu tepla, zejména pokud bereme v úvahu proudění, je vynikající. Je podobná plynům, jako je vodík nebo hélium, a je vyšší než vzduch. Při vysokých teplotách, tepelná vodivostní křivka SF₆, která je zobrazena na Obr. 7, ukazuje jednu z výjimečných vlastností plynu, kvůli kterým je používán k hašení elektrického oblouku.



Obr. 8 - tepelná vodivost SF₆ a Dusíku

Elektrická pevnost SF₆ je za normálního tlaku více než dvakrát větší než pevnost vzduchu. Výhodou SF₆ proti dusíku nám znázorňuje graf na Obr. 8.



Obr. 8 – závislost průrazného napětí na tlaku (SF₆, N₂)

Je nutné udržovat jeho vlhkost na velmi nízké úrovni z důvodu rosení na izolačních částech při ochlazování soustavy. Vlhkost má také podstatný vliv na rozklad SF₆ elektrickým obloukem.

Faktory, které ovlivňují elektrickou pevnost lze, rozdělit takto:

1. Faktory ovlivňující přímo – vzdálenost a tvar elektrod, velikost tlaku plynu.
2. faktory, které lze ovlivnit - vlhkost a nečistota plynu, nečistota elektrod – lze ovlivnit
3. faktory, se kterými je třeba počítat – doba a tvar přiloženého napětí, plocha a drsnost elektrod

Z hlediska zhášení oblouku můžeme o SF₆ říct, že vykazuje výjimečnou kombinaci příznivých termodynamických a elektrických vlastností, které můžeme shrnout do několika bodů:

1. snadnou ionizovatelnost plazmatu SF₆, a tím nízké obloukové napětí a energii oblouku v proudové oblasti zhášení
2. nízkou teplotu disociace plynu, a tím výhodným teplotním profilem oblouku s úzkým vodivým jádrem obklopeným nevodivým obalem

3. krátkou časovou konstantu oblouku danou rychlým ochlazením jádra oblouku, takže proběhne rychlá deionizace podporovaná záchytem volných elektronů elektronegativními atomy fluoru
4. zmenšení časové konstanty oblouku v oblasti kolem nuly proudu na zlomky mikrosekund a tím rychlé zhášení i při obtížných případech vypínání
5. velkou statickou i dynamickou elektrickou pevnost po vypnutí proudu v napěťové oblasti vlivem elektronegativních vlastností.

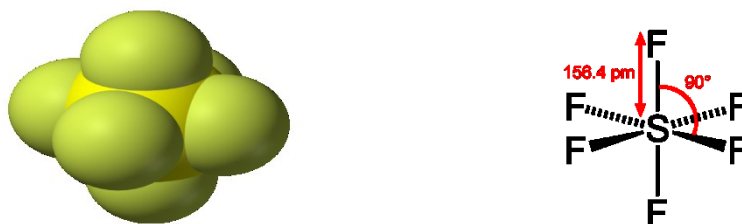
Z uvedených vlastností vyplývá, že pochody probíhající ve zhášecím médiu SF₆ vyhovují jak při vypínání velkých zkratových, tak při vypínání malých provozních proudů. Vypínače SF₆ vyhovují jak z hlediska vypínání malých induktivních proudů, tak z hlediska vypínání proudů kapacitních. U vypínání malých induktivních proudů nedochází vlivem dobré vodivosti plazmatu SF₆ k utržení proudu před průchodem nulou, což znamená vypnutí bez vzniku nebezpečného přepětí. U kapacitních proudů probíhá vypínání bez průrazu díky strmému nárůstu elektrické pevnosti mezikontaktního prostoru, což opět znamená i bez vzniku nebezpečných přepětí. Vypínače SF₆, přestože byly původně konstruovány na vvn, našly zásadní uplatnění i v oblasti vn prakticky v celém rozsahu napěťových hladin. Plyn SF₆ tedy představuje zhášecí médium vhodné pro konstrukci malých i velkých spínacích přístrojů, slučuje příznivé vlastnosti oleje i stlačeného vzduchu, přičemž nemá jejich nedostatky.

Hlavní fyzikální vlastnosti plynu jsou:

- Molární hmotnost 146,078 g/mol
- Kritická teplota 45,55 °C
- Teplota varu -64°C; 209 K
- Kritický tlak 37,59 bar

2.2.4. Chemické vlastnosti plynu SF₆

Chemické vlastnosti SF₆ jsou určeny stavbou molekuly, která představuje úplné nasycené vazby jednoho atomu síry se šesti atomy fluoru, uspořádaných v rozích osmistěny. Vzorec a model plynu SF₆ je na Obr. 8.



Obr. 9 – Fluorid Sírový

Fluorid sírový má inertní povahu a je chemicky neaktivní. Patří mezi nejstabilnější chemické sloučeniny. S žádnou látkou nereaguje až do teploty 550° C. Vzdůst elektrické permitivity s rostoucím tlakem je u SF₆ strmější než u ostatních plynů. Součinitel přestupu tepla při 0,1MPa je 1,6krát a při 0,2MPa 2,5krát větší než pro vzduch. To má obrovský význam pro chlazení, tedy odvod tepla ze spínačů a ostatních zařízení plněných SF₆. Účinkem teplot elektrického oblouku se zčásti mění na sloučeniny s menším obsahem fluoru, ale ty se z valné části spojují opět do SF₆. Vlivem silné rekombinace při poklesu teploty se množství SF₆ ve vypínači příliš nemění a pokles tlaku při opakovaném vypínání je velmi malý. Při rozpadu SF₆ vlivem elektrického oblouku vznikají hlavně tyto produkty SF₂ – jedovatý plyn, S₂F₂ – zapáchající plyn, SF₄ – velmi dráždivý plyn, S₂F₁₀ – nebezpečný plyn, fluoridy, HF – fluorovodík, velmi agresivní, napadající dílce v nejbližším okolí, zejména materiál zhašecích trysek. Proto se užívá teflon k izolaci trysek.

2.2.5. Dopady na životní prostředí použitím plynu SF₆[3]

Problémem fluoridu sírového je, že se jedná o skleníkový plyn s extrémně vysokým potenciálem působení globálního oteplování. Jeho potenciál přispívat k intenzifikaci skleníkového efektu (= schopnost molekul absorbovat unikající infračervené záření zemského povrchu) je ve srovnání s nejvíce diskutovaným oxidem uhličitým až 22 200 x větší. Vzhledem k těmto vlastnostem může fluorid sírový potenciálně značně ovlivňovat klima na Zemi. Proto byl také zařazen mezi kontrolované látky dle Kyótského protokolu. Fluorid sírový má navíc díky své chemické inertnosti velmi dlouhou životnost v atmosféře.

2.2.6. Dopady plynu SF₆ na zdraví člověka a rizika[3]

Expozice fluoridu sírovému může působit podráždění nosu a dýchacího ústrojí, s následným kašlem a dušností. Vyšší koncentrace mohou způsobit plicní edém. Při vdechování vysokých koncentrací fluoridu sírového může dojít k poškození centrální nervové soustavy exponované osoby. V běžném prostředí však koncentrace fluoridu sírového nedosahují koncentrací, které představují rizika.

2.2.7. Zdroje emisí SF₆[3]

Fluorid sírový je syntetická látka, to znamená, že je vyráběna člověkem a přirozeně se v přírodě nevyskytuje. Proto jsou veškeré jeho úniky spojeny s lidskou činností. K významným únikům této látky může docházet zejména v následujících případech:

- při poškození nebo prorozvěžení elektrických zařízení, ve kterých je obsažen;
- z průmyslu, kde je využíván (tavení hořčíku, výroba polovodičů).“

2.2.8. Způsoby zjišťování úniku a měření SF₆[3]

Základní představu o únicích fluoridu sírového si lze udělat z bilance daného

průmyslového provozu. V případě, kdy látky do systému vstupuje více než z něj na konci vystupuje nebo se spotřebuje, je nutné vzít v úvahu případný únik. Množství unikající látky můžeme definovat například pomocí znalosti její koncentrace ve vypouštěném vzduchu a z jeho objemu. Fluorid sírový je z chemického hlediska sloučenina síry a fluoru. Tuto látku proto označujeme jako fluorid a proto ji můžeme stejně jako ostatní fluoridy zjišťovat a stanovovat metodami odměrnými, spektrofotometrickými a potenciometrickými. Měření mohou provést komerční laboratoře. Odměrné stanovení: jedná se o titraci zkoumaného roztoku odměrným roztokem dusičnanu thoričitého ve vodném prostředí o $\text{pH}=3$ s vizuální indikací konce titrace. Spektrofotometrické stanovení je založené na reakci fluoridu s centrálním kovovým iontem barevného komplexu. Potenciometrické stanovení: jedná se o metodu záchytu tuhých a plyných sloučenin fluoru na celulózovém filtru impregnovaném mravenčanem sodným. Ve výluhu filtru se následně stanoví koncentrace fluoru potenciometricky iontové selektivní elektrodou. Ohlašovací práh 50 kg ročně si lze představit při koncentraci ve vzduchu 0,1 % obj. jako objem vzduchu přibližně 8 300 m³ (při 20°C a tlaku 101,325 kPa).

2.2.9. Další informace k plynu SF₆[3]

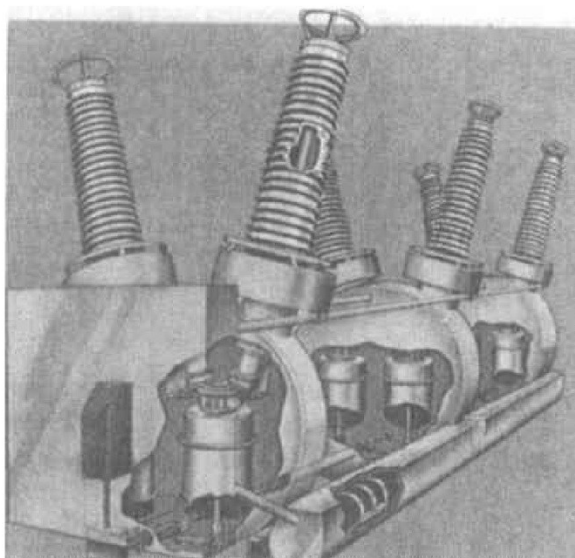
Fluorid sírový se v průmyslu obvykle rozděluje dle čistoty do tří stupňů:

1. Elektrický stupeň: využíván jako dielektrický plyn pro izolované vysokonapěťové spínače, izolované elektrické převaděče a transformátory.
2. Elektronický stupeň: využíván pro aplikace s potřebou extrémní čistoty, jako činidlo (leptadlo) při plazmových procesech.
3. Metalurgický stupeň: slévárenské použití - jako komponent inertního plynu při slévání hliníku a hořčíku. Dále je ve formě směsi s dusíkem využíván jako čistící látka při výrobě hliníku a jeho sloučenin. Uvolněné atomy fluoru odstraňují nežádoucí oxidy atomů vodíku a jiné nečistoty ze slitiny, čímž výrazným způsobem zvyšují její kvalitu.

2.3. Principy tlakových vypínačů s plynem SF₆

2.3.1. Dvoutlakové vypínače s plynem SF₆

Konstrukčním vzorem pro tyto první vypínače se staly dvoutlakové tlakovzdušné vypínače. Hlavním rozdílem bylo, že místo použití vzduchu byl použit plyn SF₆. Tyto první vypínače byly obvykle vyráběny v provedení Dead-Tank. Konstrukce nádrží a jejich velikost byla velmi podobná olejovým vypínačům, jak je znázorněno na Obr. 9.



Obr. 9 - Dvoutlakový vypínač s plynem SF6

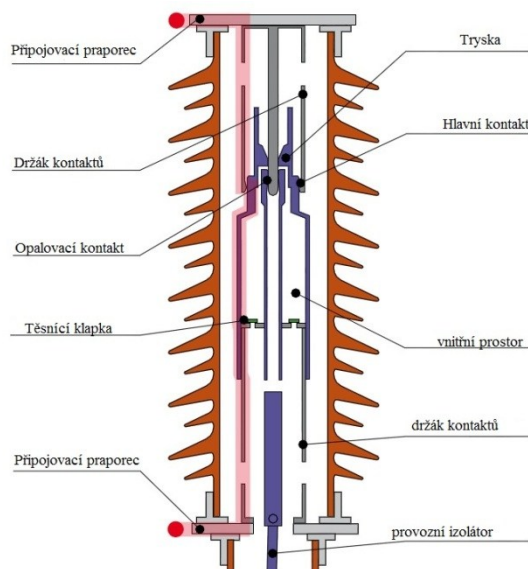
V mnoha případech se vypínač nelišil ani od provozních mechanismů, jen byl přizpůsoben plynu SF6 na místo oleje. Elektrický oblouk byl chlazen axiálním ofukováním plynu přiváděného z vysokotlaké nádoby do prostoru vypínače. Tyto vypínače se vyráběly s jednou nebo se třemi zhášecími komory, v závislosti na provozním napětí a požadavkům na vypínací schopnosti. Vypínač musel mít zvláštní kompresor, který stlačoval zhášecí plyn již expandovaný při vypínacím procesu opět na tlak potřebný ke zhášení.

Zkapalňování plynu SF6 byl hlavním problémem dvoutlakových vypínačů. Zbytky zkapalněného plynu snižovaly dielektrické vlastnosti vypínače. Proto byly vysokotlaké nádrže opatřeny topným zařízením. Složitost a nedostatečná spolehlivost, velký počet dílů a velké požadavky na údržbu, problémy se zkapalněním plynu SF6 při nízkých teplotách vedly k vývoji nových, konstrukčně jednodušších vypínačů.

2.3.2. Tlakoplynový vypínač typu Puffer-Type

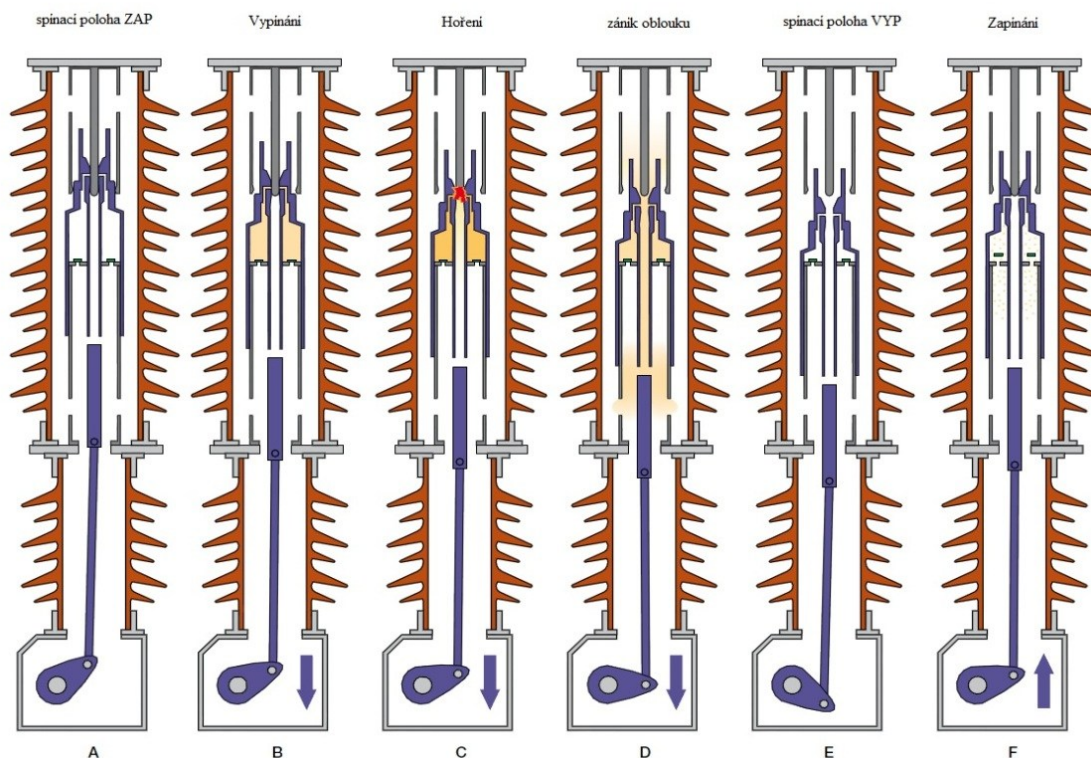
S cílem odstranit tlakovou nádobu a kompresor, byl vynalezen nový typ vypínače, který k vytvoření potřebného tlakového spádu využíval stlačení pístu během vypínacího pochodu. Problémem těchto vypínačů jsou velké požadavky na výkon a na provedení pohonu, který kromě ovládací funkce zabezpečuje i natlakování kompresní komory pomocí pístu.

Na obr. 10 jsou zobrazeny hlavní prvky zhášecí komory vypínače typu Puffer.



Obr. 10 – Hlavní prvky zhášecí komory vypínače typu Puffer

U zhášecí komory typu Puffer, se potřebný tlak zhášecího plynu vytvoří až bezprostředně při vlastním vypínacím zdvihu, a to pohybem zdvihu v kompresním válci, který je zde umístěn přímo ve zhášecím izolátoru. Kompresní válec je spojen s izolačním táhlem a pohonem na zemním potenciálu. Stlačený plyn je vháněn skrz zhášecí trysku do prostoru, kde oblouk hoří. Tryska je obvykle vyrobena z Teflonu. Obrázek 11. Ukazuje funkci zhášecí komory typu Puffer.



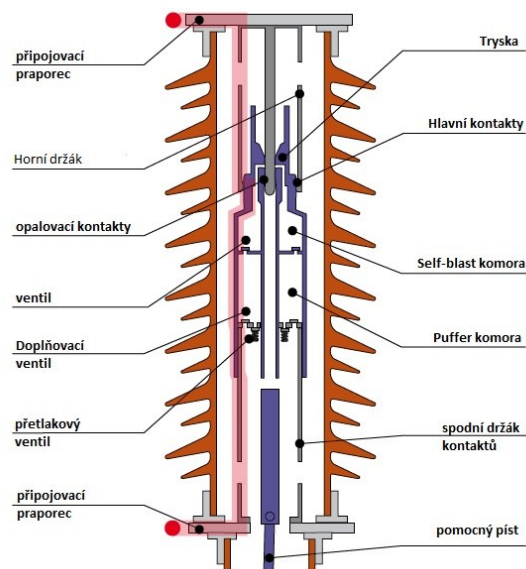
Obr. 11 – funkce zhášecí komory Puffer

- A – vypínač je zapnut, proud protéká hlavním kontaktem
- B – rozezpíná se hlavní kontakt, proud komutuje na ještě sepnutý opalovací kontakt. Začíná se zvětšovat objem plynu ve vnitřním prostoru.
- C – Po rozeznutí opalovacích kontaktů, dojde na něm ke vzniku oblouku. Objem plynu ve vnitřním prostoru stále roste.
- D – Studený plyn proudí proti směru kompresního válce přes zhášecí trysku k pevnému opalovacímu kontaktu, kde ochlazuje oblouk a zháší ho.
- E - Kontakty jsou nyní plně rozpojené
- F – Při zapínání kontaktu se vnitřní prostor uzavře, kde je naplněn studeným plynem a je připraven na další vypnutí.

2.3.3. Tlakoplynový vypínač typu self-blast

Tento princip využívá k vytvoření potřebného tlakového spádu plynu, potřebného pro následné chlazení oblouku prouděním, vlastní energii elektrického oblouku. Tím jsou také dány konstrukční odchylky zhášecí komory od Puffer systému. Zatímco u puffer systému bývá jedna válcová kompresní komora (s pístem) o objemu optimalizovaném pro velké zkratové proudy, u self-blast systému se většinou používají komory dvě. První, komora bez pístu, je optimalizována na velké proudy a je uzpůsobena pro proudění plynu v obou směrech a také je uzpůsobena k míchání plynu (studený - horký). Druhá, komora, která je menší než první, je optimalizována pro malé proudy, kdy energie elektrického oblouku je nedostatečná pro vytvoření potřebného tlakového spádu. Obě komory bývají propojeny zpětným ventilem k zamezení expanze plynu do druhé komory při vypínání velkých proudů.

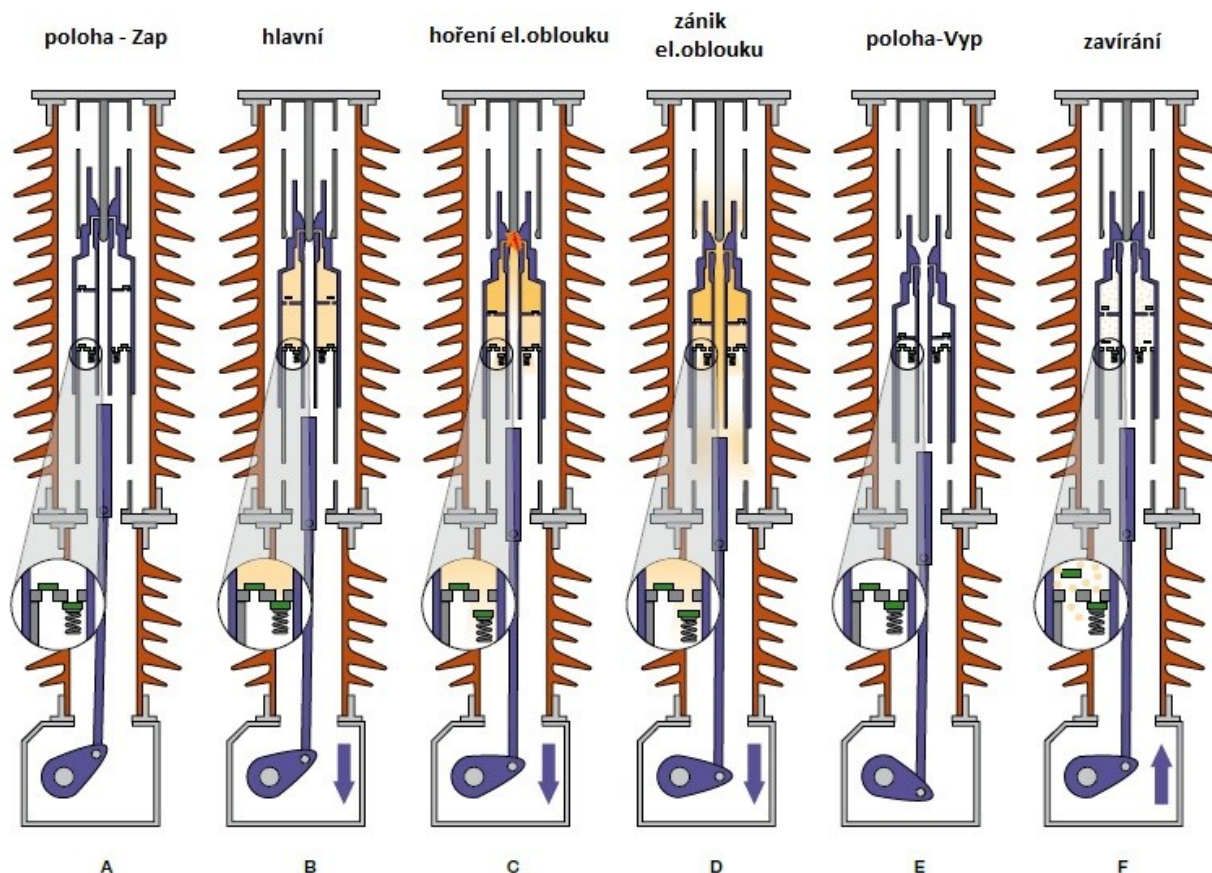
Konstrukce zhášecí komory self-blast je na obr. 12. Zhášecí komora je rozdělena na vlastní zhášecí prostor komory, kompresní komoru(self-blast), komoru pomocného pístu(Puffer), izolační teflonovou trysku a na systém kontaktů. Systém kontaktů se skládá z opalovacích kontaktů, které slouží k vlastnímu vypínání. Tyto opalovací kontakty musí být odolné proti opalu, a jsou vyrobeny ze speciální slitiny s obsahem wolframu.



Obr. 12 – konstrukce zhášecí komory

Jak je vidět z obr. 12, je zhášecí komora rozdělena do dvou komor, od sebe oddělených ventilem. Při velkých zkratových proudech je zhášecí proud v prostoru opalovacích kontaktů silně zahříván energií oblouku. To vede k nárůstu objemu plynu v kompresní komoře, až do doby, kdy je objem plynu tak velký, že uzavře zpětný ventil. Plyn nemůže expandovat do komory s pomocným pístem a místo toho, stlačený plyn proudí skrz trysku, kde ochlazuje a zhasí oblouk. Při vypínání malých proudů, nemá elektrický oblouk dostatečnou energii na zvětšení objemu plynu do takové velikosti, že by se uzavřel zpětný ventil. Vypínač pak funguje jako Puffer –Type systém vypínače, kdy potřebný tlak je vytvořen pomocí pohonu.

Princip vypínacího pochodu u self-blast provedení ukazuje obr. 13.



Obr. 13 – Vypínací pochod self-blast provedení

- **A** - V zapnuté poloze jsou propojeny opalovací kontakty i hlavní kontakty hlavní proudové dráhy. Ve zhašecí komoře je konstantní tlak plynu.
- **B** - Při vypínání nejprve dojde k rozpojení hlavních kontaktů. Dojde k rozpojení hlavní proudové dráhy, a proud komutuje na ještě sepnutý opalovací kontakt. Začíná se zvyšovat tlak v obou komorách.
- **C** - Při rozpojování opalovacího kontaktu, dochází k zapálení elektrického oblouku. Tento oblouk ohřívá okolní plyn a tím se zvedá objem plynu v kompresní komoře. Ventil se uzavře až v době, kdy je objem plynu větší než je objem plynu v komoře s pomocným pístem.
- **D** - plyn proudí zhašecí tryskou do zhašecí komory, kde ochlazuje elektrický oblouk a ten zhasí. Nadměrný tlak v komoře s pomocným pístem je uvolněn pomocí přetlakového ventilu.
- **E** - kontakty jsou plně rozpojené.

- **F** – při zapínání je komora s pomocným pístem znovu naplněna chladným plynem a připravena na další vypnutí.

2.4. Spínací mechanismy vypínačů s plynem SF₆

Spínací mechanismus je tvořen mechanismem a pohonem. Tyto součásti zajišťují hlavní úkol spínacího mechanismu, a to sepnutí, nebo rozpojení kontaktů za určitý čas. Hlavní částí spínacího systému je pohon. U puffet-type vypínače jde většinou o hydraulický pohon, u self-blast jde většinou o střadačový pohon.

Pohon vykonává tyto po sobě jdoucí funkce:

1. Nashromáždění energie a její uskladnění
2. Uvolnění energie
3. Předání energie
4. Ovládání kontaktů

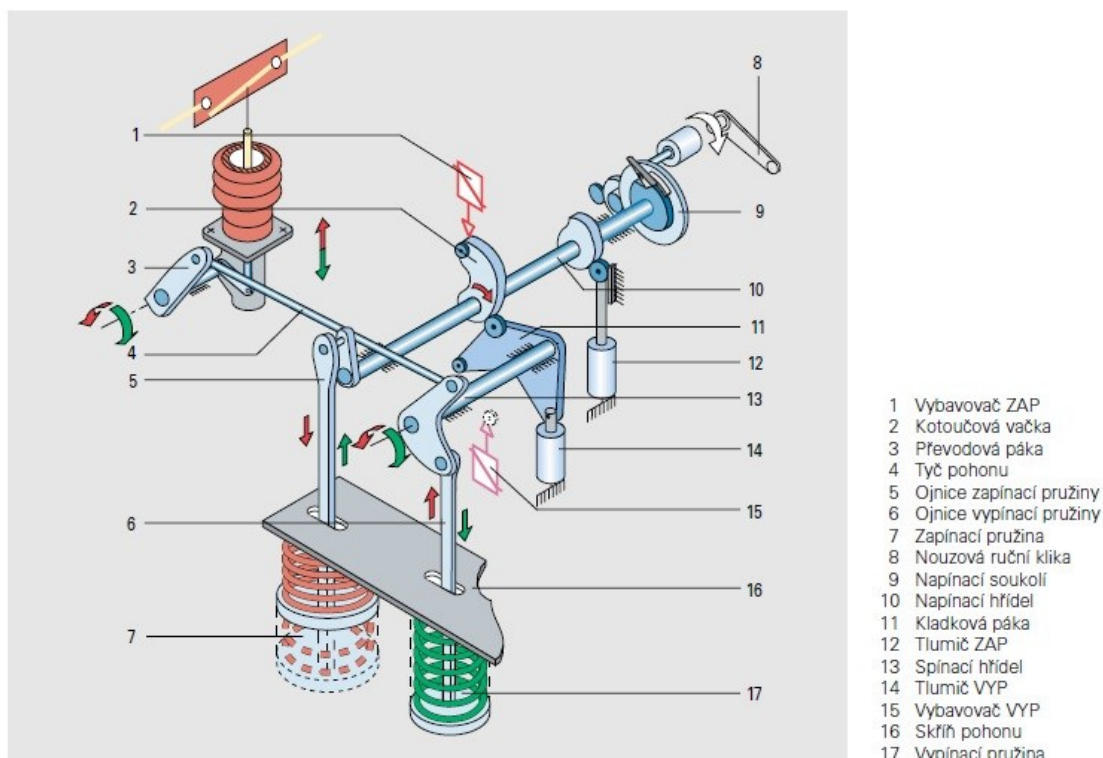
Požadavkem na provedení spínacího mechanismu, bez ohledu na to o jaký provedení vypínače se jedná je, aby bylo možno, a to i v případě výpadku napájení pohonu, provést manuálně tři spínání, např. cyklus opětovného zapínání (0-0,3 CO). Pokaždé manipulaci musí být pohon automaticky nastřádán.

2.4.1. Pružinový střadačový mechanismus

U pružinového mechanismu je energie potřebná k zapnutí, nebo k vypnutí vypínače prováděná prostřednictvím energie pružiny. Ve většině případů dochází při každé manipulaci vypínače k natažení pružiny, která je držena v napruženém stavu západkou. Při vypínání dojde k uvolnění západky, buď mechanicky, nebo elektromagneticky a síla daná napětím pružiny nám oddálí kontakty vypínače. Jeden z příkladů provedení pružinového střadačového pohonu je na obr. 14.

Výhodou pružinových spínacích mechanismů je:

- Čistě mechanický princip ovládání, u kterého nehrozí únik plynu nebo oleje, což by mohlo ohrozit spolehlivost vypínače.
- Vyvážená aretace poskytuje stabilnější rychlost zapůsobení vypínače.
- Je méně citlivý na teplotu než například pneumatický, nebo hydraulický spínací systém, to zajišťuje opět vyšší stabilitu i při extrémních teplotách.
- Má jednoduchou konstrukci, méně komponent než hydraulický, nebo pneumatický systém a to zase zvyšuje jeho spolehlivost.



Obr. 14 – pružinový střadačový pohon vypínače 3API/2 ABB

2.4.2. Pneumatický spínací mechanismus

Tento systém využívá stlačeného vzduchu, který vyvolá potřebnou sílu k rozpojení kontaktů. Nevýhodou těchto mechanismů je, že vlivem vysokého provozního tlaku hrozí únik vzduchu, zejména při nízkých teplotách, kdy vzniká koroze důsledkem zkapalňování vzduchu.

2.4.3. Hydraulický spínací mechanismus

Ovládací síla potřebná k rozpojení kontaktů je přenášena zprostředkovaně hydraulickou kapalinou. Obvykle je tvořen jedním pracovním válcem s diferenciálním pístem. Hydraulický olej je tlakován pomocí plynového polštáře v akumulátoru. Výhodou je možnost vytvoření velké síly pro pohyb kontaktů. Má však také řadu nevýhod. Větší riziko úniku kapaliny. Musí se kontrolovat provozní tlak, který se pohybuje v rozmezí od 30 do 40 Mpa. Dále se musí hlídat hladina oleje v akumulátoru, jinými slovy objem vzduchového polštáře. Rozdílné teploty při provozu mají vliv na rychlost působení mechanismu.

Tyto mechanismy donedávna používali různí výrobci pro svoje SF₆ vypínače. Nicméně po zavedení self-blast vypínačů, kde už není potřeba velké energie pro provoz pohonu vypínače, tak jsou hydraulické spínací mechanismy většinou nahrazovány pružinovými spínacími mechanismy.

2.4.4. Hydraulicky-pružinový spínací mechanismus

Jedná se o kombinaci hydrauliky a pružiny. Vypnutí nebo zapnutí vypínače je prováděná prostřednictvím energie pružiny, a ta je natahována hydraulicky.

2.4.5. Spínací mechanismus řízeným servomotorem

Jedním z posledních vyvinutých spínacích mechanismů je ovládání pomocí digitálně řízeného servomotoru. Provoz servomotoru je hlídán čidlem, který čte polohu motoru a nastavuje neustále optimální přímou dráhu kontaktů vypínače s vysokou přesností a spolehlivostí. Pohon je v podstatě digitální systém, jehož povozní pohyby (zapnout-vypnout) jsou naprogramované řídicí jednotky. Hlavní výhodou je minimální mechanický systém. K nashromáždění energie, k uskladnění a k uvolnění energie, je u jiných systémů zapotřebí různých pohyblivých prvků, ale u řízení servomotorem se počet pohyblivých prvků snížil na jediný, a to je rotor motoru. Tím se snižují nároky na servis a proto je tato technologie vhodná pro vypínače s častým použitím. Příklad provedení mechanismu je na obr. 15.



Obr. 15 – spínací mechanismus digitálně řízený servomotorem (ABB do 170 kVA)

3. Elektrické přístroje s plynem SF₆ na Dolech Bílina

3.1. Charakteristika rozvodné sítě Doly Bílina

Severočeské doly a.s., jsou společností, která vznikla dne 1. ledna 1994 rozhodnutím o privatizaci podstatné části majetku dvou státních podniků, Doly Nástup Tušimice a Doly Bílina, se sídlem v Chomutově. Předmětem jejího podnikání je zejména těžba, úprava a odbyt hnědého uhlí a doprovodných surovin. Svou těžební činnost provozují v Severočeské hnědouhelné pánvi na dvou odloučených lokalitách Tušimice a Bílina. Společnost ročně produkuje řádově 20 mil. tun uhlí, čímž zaujímá vedoucí pozici na trhu.

Elektrická energie o napětí 110 kV je dodávána z rozvodny ČEZ v Chotějovicích po třech nezávislých linkách do hlavní rozvodny označované jako TR1. Zde se elektřina transformuje na napětí 35kV a 6kV a pak jednotlivými distribučními linkami paprskovitě rozvádí do dalších rozvodů a do jednotlivých provozů. Velká rýpadla a zakladače jsou napájeny napětím 35kV po vlečných gumových kabelech Stanice dálkové pásové dopravy, menší zakladače a velkostroje v uhelném lomu jsou napájeny vlečnými kabelemi 6kV.

Linky volných vedení 35kV jsou rozvedeny k jednotlivým napájecím bodům, kterými jsou přesuvné transformovny (35/6kV) označované jako tzv. TSN, nebo DT.

Z uvedeného popisu rozvodné sítě a z charakteru činnosti společnosti vyplývá, že nároky na spolehlivost dodávky elektrické energie k jednotlivým provozům jsou vysoké. Pro zvýšení provozní spolehlivosti a snížení nároků na obsluhu a údržbu se systematicky provádí modernizace elektrického zařízení. Hledají se takoví výrobci, kteří svými výrobky budou bezpečně a spolehlivě pracovat 30 i více let. V oblasti výkonových vypínačů se provedla řada výměn, kde právě vypínače s plynem SF₆ a zapouzďené rozvaděče s plynem SF₆ našli uplatnění.

3.2. Současné využití elektrických přístrojů s plynem SF₆

Na dolech Bílina používáme vypínače a zapouzďené rozvaděče s plynem SF₆ v přesuvných stanicích typu TSN a DT, kde slouží k napájení technologických zařízení a celků. Dále jsou použity jako přívodní vypínače určitých velkostrojů (např. K101, Z98), nebo poháněcích stanic pasových dopravníků (např. DPD520).

3.3. Příklad provedení transformační stanice DT

Rozvodny DT jsou provedeny jako přesuvná pro umístění ve venkovním nechráněném prostředí. Konstrukce rozvodny je vyrobena jako kontejner na ližinách. Rozvodna je umístěna na zpevněném terénu. Spodní část je tvořena nosným podlahovým rámem s dvojitou podlahou. Nosný rám

zajišťuje dostatečnou tuhost rozvodny a mezi podlahový prostor slouží pro vnitřní kabelové propoje v rozvodně. Na podlahové části je z ocelových profilů svařen nosný skelet rozvodny. Na vnější opláštění jsou použity tepelné izolační panely, které zajišťují stálou pracovní teplotu uvnitř rozvodny nezávisle na venkovní teplotě. Střecha je sedlová, ze středu do stran spádová. Konstrukce stropu a vlastní střechy zajišťuje zvýšenou teplotní odolnost při přímém působení slunečních paprsků. Dveře do rozvodny jsou hliníkové se zvýšenou prachotěsností, které zaručují krytí rozvodny IP54. Příklad



provedení transformační stanice je na obr 16.

Obr. 16 – provedení přesuvné transformační stanice DT 75-35kV

Uvnitř je namontována kompletní elektro výbava transformační stanice s transformátorem 35/6kV, 6,3MVA a slouží pro napájení technologických celků a zařízení.

Vnitřní vybavení rozvodny DT 35 je:

- 1) přívodní rozvaděč 35kV R1, který se skládá se čtyř typových polí (moduly):
 - a) R1.1 - přívodní pole 35kV (typ C) - přívodní linka 1
 - b) R1.2 - přívodní pole 35kV (typ C) - vývod/přívod na druhé DT
 - c) R1.3 - pole vývodu 35kV (typ V) - vývod pro napájení rypadla
 - d) R1.4 - pole vývodu 35kV (typ V) - vývod pro napájení transformátoru T1 (35/6kV, 6,3MVA)
 - e) R1.5 - pole vývodu 35kV (typ F) - vývod pro napájení transformátoru vnitřní spotřeby T2 (35/0,4kV, 100kVA)
 - f) R1.6 - pole měření 35kV (typ M) - měření napětí 35kV
- 2) rozvaděč vývodů 6kV – R2
 - a) pole kompenzace chodu transformátoru naprázdno
 - b) přívod 6kV z transformátoru T1
 - c) 6 krát vývod 6kV

- 3) transformátor vnitřní spotřeby T2 (35/0,4kVA, 100kVA)
- 4) rozvaděč vnitřní spotřeby 400/230V - R3:
 - a) vnitřní i vnější osvětlení trafostanice
 - b) vytápění vnitřního prostoru rozvodny
 - c) zásuvky
 - d) ovládací obvody
- 5) rozvaděč RS R4:
 - a) řídicí systém

3.3.1. Přívodní rozvaděč R1 35kV SafePlus 36

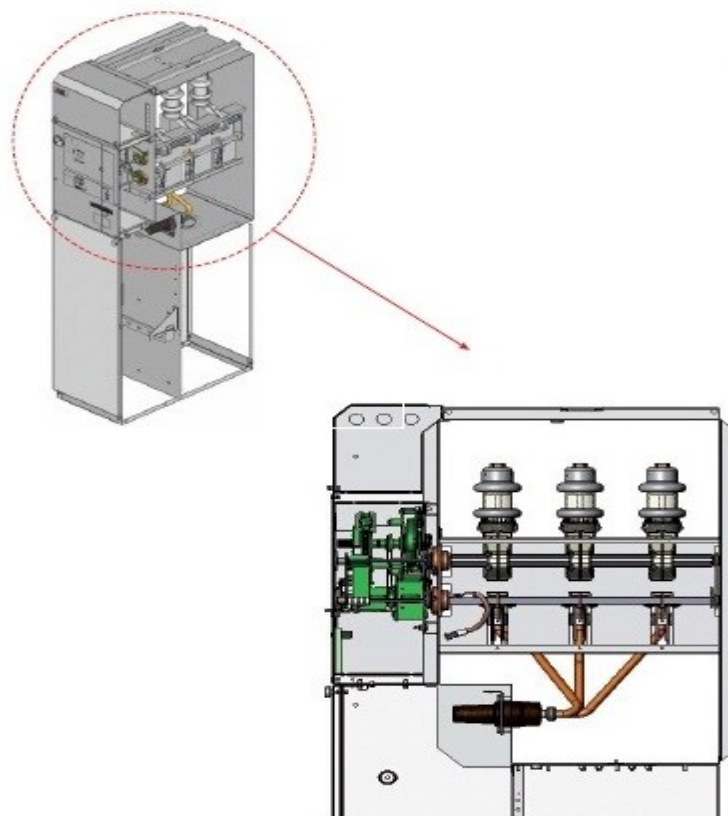
Přívodní rozvaděč R1 typ SafePlus 36 je v zapouzdřeném provedení izolovaný plynem SF₆, jehož výrobcem je firma ABB. SafePlus 36 je zcela hermeticky uzavřený systém s nádobou z nerezové oceli, která obsahuje všechny části pod napětím a spínací funkce. V uzavřeném zapouzdřeném prostoru se nachází sběrníkové zařízení, vypínač, odpínače a uzemňovač. Provedení rozvaděče SafePlus transformační stanice DT je na obr. 17.



Obr. 17 – rozvaděč SafePlus 36

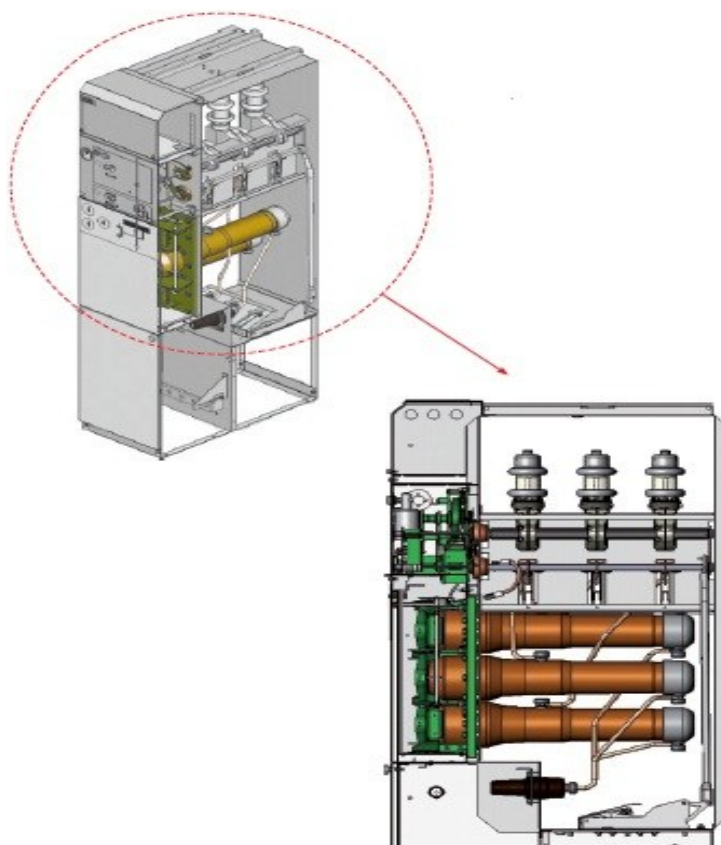
Kompaktní rozvaděč SafePlus může být proveden, jako tří - cestná, nebo jako čtyř - cestná standardní konfigurace s přídatným zařízením, podle přání zákazníka. Rozvaděč je více flexibilní. Dává možnost kombinace plně modulárních, nebo částečně modulárních konfigurací modulů C a F, nebo například modul V. Volitelně může být vybaven sadou přípojnicových připojení vlevo nebo vpravo pro rozšíření nebo plně modulární uspořádání. Souprava externí přípojnice se musí montovat na rozvaděče na místě instalace. Systém SafePlus 36 nabízí kombinaci odpínače s pojistkami pro jištění transformátoru. K dispozici jsou tyto modely:

- Modul C – Kabelový odpínač (obr. 17) je dvupolohový odpínač využívající plyn SF6 jako médium na zhášení oblouku se samostatným uzemňovačem. Spínací polohy jsou, zapnuto a vypnuto. Ve vypnuté poloze splňuje odpínač požadavky pro odpojovač. (obr. 18).



Obr. 18 - Modul C rozvaděče SafePlus 36kV

- Modul F – Odpínač s pojistkami (obr. 19) je dvupolohový odpínač se samostatným uzemňovačem. Pomocí vybavovacího zařízení pojistek působí jako kombinace odpínače s pojistkami. Má dvojité uzemňovače, který v uzemněné poloze spojuje se zemí obě strany pojistek současně. Oba uzemňovače jsou ovládány při jedné manipulaci. Odpínač s pojistkami a uzemňovač jsou mechanicky blokovány, aby se zabránilo nebezpečnému přístupu k pojistkám. Spodní kryt, který umožňuje přístup k pojistkám je také mechanicky blokován s uzemňovačem.



Obr. 19 - Modul F rozvaděče SafePlus 36kV

- Modul V - U této jednotky je transformátor jištěn vakuovým vypínačem v kombinaci s ochrannými relé a měřicími transformátory proudu

Maximální počet modulů v jedné nádobě SF6, jsou 4 moduly. Jednotky, nebo moduly jsou dodávány z výrobního podniku připravené pro instalaci. Před odesláním jsou provedeny na všech jednotkách, nebo modulech zkoušky a pro instalaci nejsou požadovány žádné speciální nástroje

Připojení kabelů vn je provedeno kabelovými průchodkami. Průchodky jsou vyrobeny z licí pryskyřice se zalitými vodiči. Mimo to je zalito stínění pro regulaci elektrického pole, které také slouží jako hlavní kondenzátor pro napájení napěťové indikace. Kabelové průchodky jsou série 400 (propojení C) se šroubovaným kontaktem M16 ($I_n = 630 \text{ A}$).

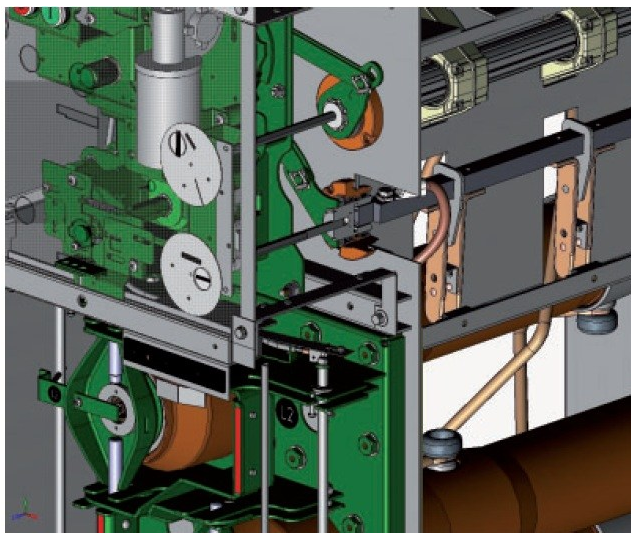
Průchodky jsou navrženy podle norem EN 50180 /EN50181.

Motorové pohony jsou všechny umístěny mimo nádobu SF6 za předními kryty se stupněm krytí IP 2X.. To poskytuje snadný přístup k těmto motorům v případě servisu. Rychlost ovládání těchto pohonů je nezávislá na rychlosti ovládání páky. Všechny jednotky jsou vybaveny blokovými

kabelovými kryty. Ty zabraňují přístupu do kabelového oddílu dříve, než je uzemňovač v zapnuté poloze. Je také znemožněno ovládání odpínače do polohy zapnuto, dokud není kryt kabelového oddílu opět na svém místě. Každý pohon je vybaven zařízením pro opatření visacím zámkem. Jestliže chceme zabránit přístupu k ovládání pohonu, umístíme visací zámek do toho to zařízení, které má tři otvory o průměru 9 mm. Všechny pohony jsou vybaveny spolehlivými ukazateli stavu pro všechny spínače. Pro dosažení spolehlivé indikace jsou ukazatelé připojeny přímo na ovládací hřídel spínačů uvnitř nádoby SF6. Ovládací páka má proti odrazový systém, který zabraňuje okamžitému opětovnému ovládání spínače. Veškeré ocelové součásti jsou galvanicky pozinkovány a chromátovány proti korozi.

Modul kabelového odpínače (pohon C) -Pohon (3PKE) má dvě ovládací hřídele, horní hřídel pro vypínač zátěže a spodní pro uzemňovač. Každá z hřídelí je ovládána jednou pružinou a jsou přímo spojeny se spínači uvnitř zapouzďení SF6. Když je jak odpínač zátěže a zároveň uzemňovač ve vypnuté poloze, vyhovuje tento odpínač specifikacím pro odpojovač. V důsledku mechanického blokování mezi horní a spodní ovládací hřídelí není možno ovládat vypínač zátěže, když je uzemňovač v uzemněné poloze nebo ovládat uzemňovač, když je vypínač zátěže v zapnuté poloze.

Modul spínače s pojistkami (pohon F) Mechanismus (3PAE) má dvě ovládací hřídele, horní hřídel pro vypínač zátěže a spodní pro uzemňovač (Obr. 20). Horní hřídel ovládá dvě pružiny, jednu pro zapnutí a jednu pro vypnutí. Obě pružiny se nastrádají současně. Pomocí mechanických tlačítek je potom možno zapnout a vypnout vypínač zátěže.



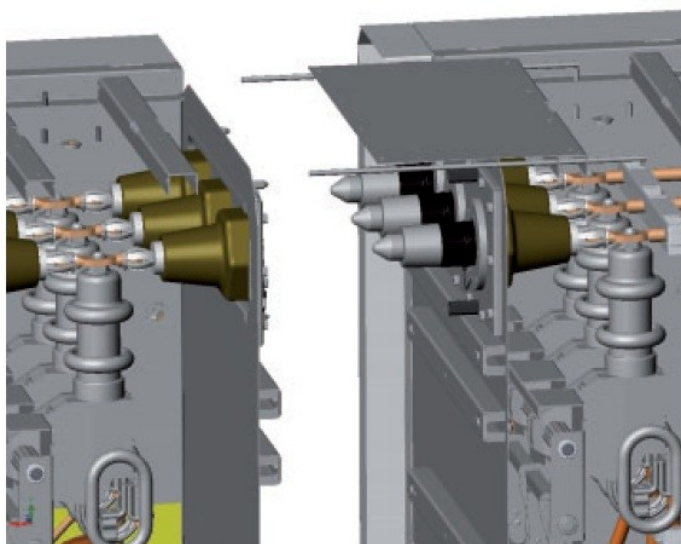
Obr. 20 – pohon modulu F (3PAE-ABB)

Vypínací pružina je vždy nastrádána, když je vypínač zátěže v zapnuté poloze a bude tedy připravena vypnout vypínač zátěže okamžitě, jestliže vybaví jedna z pojistek vn. Vybavená pojistka, nebo pojistky se musí vyměnit, dříve než bude obsluha opět schopna znovu zapnout vypínač zátěže. Podle normy ČSN EN 60282-1 (IEC 60282-1) se mají vyměnit všechny tři pojistky, i když vybavila

jen jedna nebo dvě. Spodní hřídel ovládá jednou pružinou. Obě hřídele působí na společnou hřídel, která je přímo spojena s vypínačem zátěže a uzemňovačem uvnitř zapouzdrazení SF6. V důsledku mechanického blokování mezi horní a spodní ovládací hřídeli není možno ovládat vypínač zátěže, když je uzemňovač v uzemněné poloze nebo ovládat uzemňovač, když je vypínač zátěže v zapnuté poloze. Rovněž není možný přístup do oddílu pojistek, dříve než je uzemňovač v zapnuté poloze.

Zapínání a vypínání vypínačů zátěže a střádání pružin pohonu pro kombinaci spínače s pojistkami se může provádět s motorovým ovládáním. Uzemňovače nemají tuto možnost. Sled spínání pro motorové ovládání je CO – 3 min. (tj. může být ovládán s četností do jednoho zapnutí a jednoho vypnutí každou třetí minutu).

Propojení jednotlivých rozvaděčů je provedeno pomocí speciálních průchodek pro boční rozšíření, a musí být provedeno na místě při instalaci podle obrázku 21.



Obr. 21 – propojení jednotlivých modulů safeplus rozvaděčů

Maximální počet modulů v jedné nádobě SF6, jsou 4 moduly. Jednotky, nebo moduly jsou dodávány z výrobního podniku připravené pro instalaci. Před odesláním jsou provedeny na všech jednotkách, nebo modulech zkoušky a pro instalaci nejsou požadovány žádné speciální nástroje

3.3.2. Rozvaděč vn NXPLUS 35kV

Jiné zařízení s plynem SF6 využívaný na Dolech Bílina může být například rozvaděč NXPLUS, který je izolovaný plynem SF6, kovově krytý, s kovovými přepážkami a s jednoduchými přípojnými pro vnitřní instalaci, jehož výrobce je firma Siemens. NXPLUS vn rozvaděč je používán na velkstroji K101 jako přívod na stroj a vývody na dva transformátory 35/6kV. Provedení rozvaděče je na obr. 22



Obr. 22 Rozvaděč NXPLUS - K101

Vysokonapěťový rozvaděč NXPLUS je plynem SF₆ izolovaný, kovově krytý rozvaděč vysokého napětí, s kovovými přepážkami a jednoduchými přípojniciemi pro vnitřní instalaci. Moduly rozvaděče NXPLUS jsou hermeticky svařované a jsou nezávislé na klimatických podmínkách a okolí. Všechny části rozvaděče jsou po celou dobu životnosti bezúdržbové.

Pole rozvaděče s vypínačem obsahuje přípojnícový modul s třípólovým spínačem a modul vypínače s výkonovým vakuovým vypínačem. Moduly jsou hermeticky svařené ocelové nádoby a jsou mezi sebou elektricky propojeny spojkami a pevnou izolací. Modul pro připojení kabelu je proveden výlučně pro použití uzavřených kabelových konektorů s vnitřním kónusem. Všechny funkční vysokonapěťové části jsou při doteku bezpečné nebo kryté. Zespodu je rozvaděč uzavřen krytem a případný přetlak je odveden nahoru přes zadní odlehčovací kanál. Stupeň krytí pro vysokonapěťovou část je IP65, pro skříň je IP3XD.

Modul vypínače se stává ze svařené hermeticky uzavřené nádoby vysokonapěťové části izolované plynem SF₆ a motorového ovládacího mechanismu umístěného mimo uzavřenou část. V této nádobě je výkonový vypínač s vakuovým zhášedlem, přípojnice pro propojení modulů a přivařeným vlnovcem. Vakuová zhášedla jsou ovládána lineárně z venku, bez změny a převodu pohybu uvnitř nádoby, bez použití těsnění, přes hermeticky uzavřené kovové vlnovce, které jsou přivařeny k nádobě. V případě výpadku pomocného napětí je možné vypínač ovládat ručně z ovládacího panelu, umístěného za čelními dveřmi pole rozvaděče. Modul vypínače je plněn izolačním plynem SF₆ a naplnění je sledováno snímačem s teplotní kompenzací. Jeho stav je přenášén pomocí magnetické vazby přes stěnu nádoby.

Každý třípolový spínač je osazen v samostatném modulu přípojnic a má následující funkce:

- Odpojení/izolování vývodu od přípojnic
- Uzemňovač se schopností zapnutí do zkratu

Uspořádání umožňuje odpojení, uzemnění vývodu a výměnu modulu vypínače, pokud je potřeba, bez přerušení provozu přípojnic. Přípojnicový modul je plněn plynem SF₆, a naplnění je sledováno snímačem. Motorový ovládací mechanismus třípolohového spínače je umístěn mimo uzavřenou část izolovanou plynem SF₆ nad ovládacím mechanismem vypínače. Motorový ovládací mechanismus je složen z pomocných kontaktů pro odpojovač, pomocné kontakty pro uzemňovač, z mechanického spínače pro indikaci polohy odpojovače a uzemňovače, a ruční mechanické ovládání třípolohového spínače.

Kvůli popisu využití přístrojů s plynem SF₆ na dolech Bílina, není potřeba popisovat zvlášť jednotlivé přístroje a jejich vlastnosti. Vlastnosti přístrojů, jedná se o zapouzdračené rozvaděče izolované plynem SF₆, kde se v jeho prostoru nachází sběrníkový systém, vypínač, odpínač a uzemňovač jsou si podobné. Vždy se jedná o kompaktní rozvaděče, které kvůli své flexibilitě rozšíření mohou být v provedení modulárních, nebo částečně modulárních provedení. Rozvaděče jsou vybaveny elektronickými ochranami vývodu a přívodu, příkladem může být ochrana ABB 610. Ochrana nabízí nadproudovou ochranu, ochranu proti tepelnému přetížení, zemní ochranu, ochranu při fázové nevyváženosti pro kabelové vývody a funkci automatického opětného zapnutí s několika cykly opětného zapnutí pro vývody venkovních vedení. Pro sledování vysokého napětí v rozvaděči se používají kapacitní napěťové indikátory typu HR a přenosné napěťové indikátory VIM 1 a VIM 3. Kontrola sledu fází je ukázána na Obrázku 23.



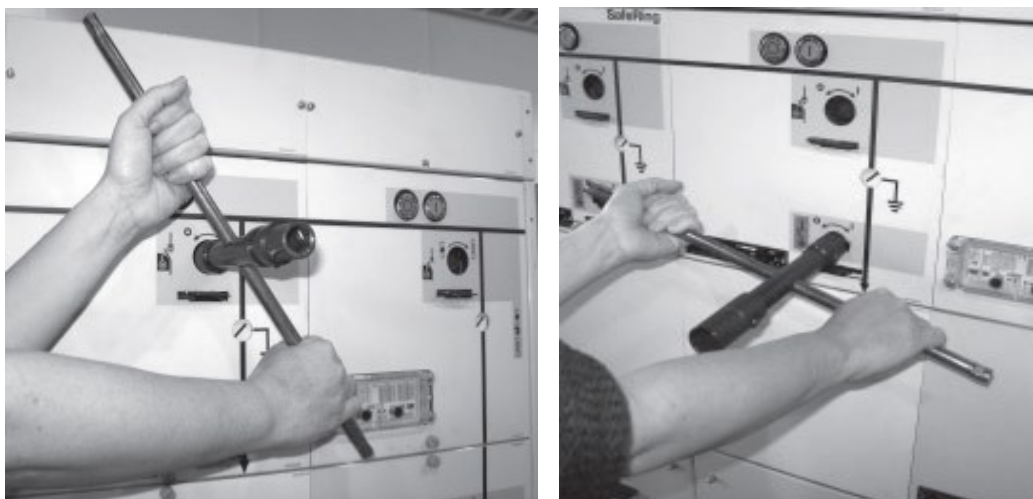
Obr. 23 – kontrola sledu fází

Provedení jednotlivých rozvaděčů se v podstatě liší jen ve velikosti a mechanickém provedení ovládacích prvků. Důvodem jsou samozřejmě hlavní kritéria, jako je napětová hladina použití, místo instalace, a vypínací schopnosti. Při výběru vhodného rozvaděče ovšem nerozhodují jen tyto hlavní kritéria, je třeba koukat na spolehlivost zařízení, jednoduchou údržbu, kvalitní servis a bezpečnost osob při manipulaci.

3.4. Obsluha rozvaděčů s plynem SF₆

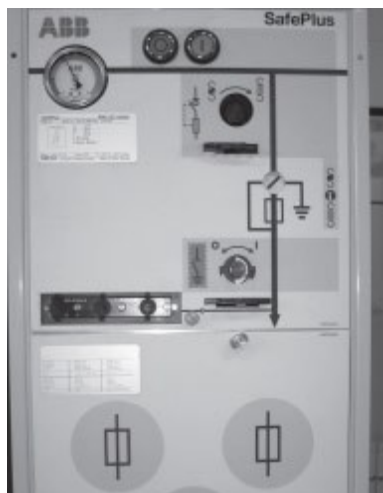
Rozvaděče obsluhuje kvalifikovaný personál. Školení se provádí u výrobců, případně u výhradních dodavatelů, a vždy se musí postupovat v souladu s „Návodem k použití“. U každého rozvaděče je možno spínač ovládat pomocí dodané páky. Interní mechanické blokování mezi odpínačem/odpojovačem a připojenými uzemňovači zabrání nesprávné manipulaci.

Příkladem obsluhy zařízení může být obsluha rozvaděčů SafePlus, výrobcem je fa. ABB. Odpojovač v modulu V je možno vypnout jen po vypnutí vypínače. Potom je možno pro zkušební účely zapnout vypínač. Ovládání odpínače/vypínače a uzemňovačů může být dále blokováno pomocí visacího zámku. Uzemňovače jsou ovládány mžikovým mechanismem, který zajišťuje rychlé zapnutí. Uzemňovač se zapne otáčením ovládací páky směrem doprava. Otáčením doleva se uzemňovač vypíná (obr. 24). Pro zapnutí odpínače s pojistkami/vypínače se musí nastřádat pružinový mechanismus. Toto se provádí otáčením páky směrem doprava. Potom se musí pro zapnutí odpínače/vypínače stlačit zelené zapínací tlačítko. Všechny ovládací páky jsou standardně vybaveny protidrazovým systémem, který zabrání okamžitému opětovnému ovládnutí spínačů.



Obr.24 – ovládání a)odpínače, b)uzemňovače

Rozvaděče jsou vybaveny mechanickými ukazateli stavu polohy daných přístrojů (Obr. 25)



Obr. 25 - SafePlus – Modul F – odpínač a uzemňvač jsou vypnuté

Montáž a výměna pojistek SafePlus je jednoduchá. Červený indikátor pod symbolem pojistky na spodním předním panelu indikuje vybavení pojistky (obr. 26).



Obr. 26 – indikátor pojistek

V případě výměny se postupuje podle návodu pro obsluhu a to takto:

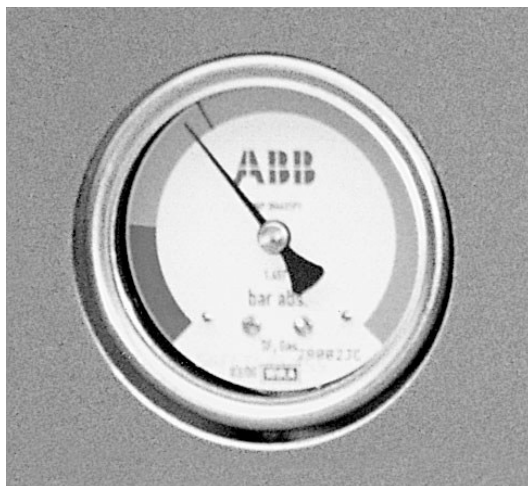
1. Indikace vybavení pojistky
2. Zapne se uzemňovač pomocí páky směrem do leva
3. Odršroubuje se panel s pojistkami, a tím se zajistí přístup k pojistkovým pouzdrům
4. Pomocí páky se uvolní pojistková pouzdra a po uvolnění vyjmeme pojistkový držák, který pevně drží pojistku v krytu.
5. Pojistku vyměníme a vložíme novou a to tak, aby kolík spouště směřoval ven z pojistkového pouzdra.
6. Pomocí páky utěsníme a utáhneme pojistkové pouzdro.
7. Uzavřeme panel s pojistkami

Nyní jsou opět spínače připraveny k provozu.

3.5. Údržba rozvaděčů izolované plynem SF6

Všechny komponenty v nádobě s plynem SF6 nevyžadují údržbu po deklarovanou dobu životnosti výrobku, která je u rozvaděčů používaných na Dolech Bílina, pokud se jedná o rozvaděč pro vnitřní použití, 30 let. Nádobu je vyrobeny z nerezové oceli. Pokud dojde k poškrábání nebo poškození panelů, musí být tyto opraveny nátěrem, aby se zabránilo vzniku koroze. Mechanické části jsou umístěny vně nádoby a za předním panelem. Toto umožňuje snadný přístup a výměnu v případě požadavku. Mechanické díly jsou povrchově protikorozně ošetřeny. Pohyblivé součásti jsou ve výrobním závodě opatřeny mazacím tukem na dobu předpokládané životnosti. V extrémních podmínkách (prach, písek a znečištění) musí být prováděna kontrola a údržba těchto mazacích pohyblivých součástí, zda nedošlo ke smytí nebo setření mazacího prostředku.

Kontrola plynu je kontrolována před každou obsluhou, buď vizuálně, kdy je rozvaděč vybaven indikátorem tlaku ve formě manometru (obr. 27), který je označen barevným rozlišením provozního tlaku (jmenovitý provozní tlak plynu je 140 kPa), nebo je tlak plynu hlídán snímačem, jehož signál je zaveden do řídicího systému.



Obr. 27 – indikátor tlaku plynu

V případě selhání vypínače z důvody poruchy, jsou k následným opravám využívány externí firmy. Pracovníci těchto firem jsou školeni u výrobců, znají konstrukci rozvaděčů. Mění a opravují na místě nejrůznější mechanické součásti, jako jsou táhla vypínačů, kabelové koncovky, propojovací kabely včetně konektorů, a v neposlední řadě doplňují plyn v případě úniku.

4. Závěr

Použití přístrojů SF₆ na Dolech Bílina začalo v 90. letech minulého století. Tehdy se postupně měnily dosluhující máloolejové vypínače, které měly řadu nevýhod. K těmto nevýhodám patří výbušnost, hořlavost a problémy se zhasením z důvodu zhoršení vlastností oleje. Kvalita oleje se musela často kontrolovat, protože každý těžší vypnutí, například při zkratu docházelo kvůli sazím k zhoršení kvality oleje. Kvůli nevýhodám při použití oleje, se začaly používat právě nejprve vypínače s plynem SF₆ a později, zapouzďené rozvaděče izolované plynem SF₆. Výhody elektrického zařízení s použitým plynem SF₆ vychází z vlastností fluoridu sírového. Hlavní vlastnosti SF₆ je nehořlavost, je elektronegativní, má příznivé vlastnosti pro odvod tepla, je bezbarvý a bez zápachu, nejedovatý, ale nedýchatelný, při normálních podmínkách je 5x těžší než vzduch, má vyšší tepelnou vodivost než vzduch, do 150°C je chemicky stálý; chemicky velmi neaktivní a stabilní i při teplotách, kdy se olej už rozpadá, má vysokou elektrickou pevnost, která s rostoucím tlakem ještě roste, při zhasení je na kontaktech malé obloukové napětí, aktivně se podílí na uhašení oblouku. Plynná média SF₆ mají vynikající dielektrické a zhasací vlastnosti, které znamenají výhodu menších rozměrů elektrických zařízení. Další velkou výhodou je že při zániku elektrického oblouku, disociované molekuly plynu rekombinují skoro k úplné obnově plynu SF₆. Prakticky nedochází k žádné spotřebě hasícího média.

V dnešní době jsou výrobci prakticky schopní navrhnout rozvaděč na přání zákazníka. Doly Bílina používají rozvaděčů firem Siemens a ABB. U zařízení je důležitá jak spolehlivost, tak jednoduchá obsluha, údržba a kvalitní servis. Firmy ABB a Siemens nabízejí typy rozvaděčů používající plyn SF₆ (fluorid sírový) jako izolační a zhasací médium. Plyn SF₆ je uzavřen ve svařované nádobě z nerezové oceli. Tlakový systém je definován jako systém hermeticky uzavřený na dobu životnosti s dobou životnosti lepší než 30 roků. Rychlost úniku je menší než 0,1 % ročně. Pro zajištění spolehlivého a těsného svaření jsou veškeré svařovací práce prováděny počítačem řízenými roboty. Elektrické a mechanické průchodky jsou sevřeny k zapouzďení a hermeticky utěsněny O-kroužky vysoké kvality. Mechanické průchodky mají mimo to rotační hřídel, která připojí hřídel spínače na příslušnou hřídel pohonu. Rotační hřídel je hermeticky utěsněn dvojitou sadou plynových těsnění. Veškerá zapouzďení SF₆ se musí podrobit zkoušce těsnosti heliem před naplněním plynem SF₆. V důsledku charakteristik helia objeví tato zkouška veškeré úniky. Zkouška těsnosti a plnění plynem se provádí uvnitř vakuové komory. Zapouzďení SF₆ má stupeň krytí IP67. To znamená, že se zapouzďení SF₆ může potopit do vody a stále si zachová veškeré funkce na vyhovující úrovni. Přes všechny tyto zkoušky a opatření někdy dojde k selhání přístroje, ale ne z důvodu vlastností plynu SF₆, ale většinou z důvodu mechanického poškození, nebo jiného selhání. Příkladem může být upálená koncovka kabelu s následným propálením zapouzďeného dílu. Při volbě, z hlediska spolehlivosti, záleží spíše na mechanických vlastnostech a provedení. Provedení je důležitý pro místo instalace. Životnost rozvaděče je určitě jiná v přesuvné trafostanici, než když je rozvaděč použit na velkostroj,

kde dochází k přenášeným vibracím, a vlivem například špatného odpružení, dochází k poškození a následně k úniku plynu. Zkušenosti s poruchami vedou nejen Doly Bílina, ale i výrobce k zdokonalení a ke zvolení vhodných typů rozvaděčů při provádění jejich instalací.

5. Literatura

- [1] *Encyklopedie plynů*, poslední revize 8. 4. 2012. Dostupný z WWW:<<http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia.asp?GasID=34&LanguageID=17&CountryID=32>>.
- [2] *Wikipedie : Fluorid sírový*, poslední revize 8. 4. 2012. Dostupný z WWW:<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fluorid_s%C3%ADrov%C3%BD>.
- [3] *Fluorid sírový.pdf*, poslední revize 8. 4. 2012. Dostupný z WWW:<www.irz.cz/repository/latky/fluorid_sirovy.pdf>.
- [4] D. Garzon, Ruben. *Second edition: High voltage circuit breakers, Design and Applications*, Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York, NY 1001 6 ISBN: 0-8247-0799-0
- [5] *NXPLUS*. Severočeske doly: Siemens, 1. 1. 2006.
- [6] *SafeRing/SafePlus 36*. Severočeské doly: ABB, 2010. 21 s.
- [7] Havelka, O. a kol. *Elektrické přístroje* 1. SNTL, Alfa Praha, 1985
- [8] Helštýn, D.; Kačor, P.; Hýtko, Z. *Elektrické přístroje spínací, ochranné a řídicí*. Skripta VŠB-TU OSTRAVA, 2003
- [9] Sedláček, Jan. *Stacionární a dynamické napěťové namáhání vypínačů VN a VVN*, Plzeň 1999. Doktoranská disertační práce, Západočeská univerzita Plzeň, Fakulta elektrotechnická, 1999-08-30.
- [10] *Silnoprúdová elektrotechnika*, poslední revize 5.4.2012. Dostupný z WWW:<fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/se/SEL1a.pdf>.